



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

EFFECTO DE LA DEMANDA DE ATENCIÓN Y EL
COMPONENTE ESPACIAL EN LA REPRODUCCIÓN DE
INTERVALOS DE TIEMPO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN PSICOLOGÍA
PRESENTA

MARISOL ESPINOZA MONROY

DIRECTOR: DR. OSCAR ZAMORA ARÉVALO
REVISOR: DR. HUGO SÁNCHEZ CASTILLO
SINODALES: DR. FLORENTE LÓPEZ RODRÍGUEZ
DR. ARTURO BOUZAS RIAÑO
DR. OSCAR VLADIMIR ORDUÑA TRUJILLO

TESIS APOYADA POR EL PROYECTO
DGAPA-PAPIIT IN307716



MÉXICO, CIUDAD DE MÉXICO

Junio 2016

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A las personas más importantes en mi vida, Ofelia Monroy y Antonio Espinoza. Gracias por ayudarme a mantenerme en el mejor camino posible dentro de este laberinto y por enseñarme la importancia del esfuerzo y el trabajo.

A mis hermanos, Selene y Héctor, por la vida que ya llevamos juntos, y la vida que aún nos espera. A mi familia en general, pero especialmente a Raquel y a mi tía Alicia, por ser tan consentidoras. Gracias a Jorge, por todo.

No me alcanzarán nunca las palabras para agradecer al Dr. Oscar Zamora por las enormes oportunidades, por el apoyo incondicional en los momentos más críticos, por nunca enfadarse (creo), por la increíble paciencia y por la promesa de seguir siendo cuates a pesar de mis constantes demoras.

Agradezco también al Dr. Arturo Bouzas por el esfuerzo en la revisión del trabajo y los comentarios que indudablemente me ayudaron a mejorarlo. Por mantenerse al pendiente y por nunca perder el ánimo de presionarme a cumplir esta meta; además de motivarme a buscar retos mayores.

Al Dr. Hugo Sánchez por la revisión, los comentarios y los jalones de oreja, sin duda, todos ellos muy pertinentes. Al Dr. Vladimir Orduña y al Dr. Germán Palafox por su interés en este trabajo; por las interesantes preguntas y los comentarios en congresos, seminarios y clases. Al Dr. Florente López por aceptar formar parte del jurado y por el admirable empeño en aprender siempre cosas nuevas. Gracias a Juan Manuel Sánchez y a Judith Harders.

Al ingeniero Gustavo Ortiz Lagunes, por ayudarme con la programación de la tarea. Nunca hubiera quedado tan bonita sin tu ayuda.

Tengo la fortuna de contar con muchos de los que considero mis amigos. Gracias a todos ustedes, a los de la escuela, a los de las películas y los libros, a los de las travesuras que no se pueden hacer públicas, a los del baile, las fiestas y las angustias; gracias a todos compañeros de vida.

Finalmente, gracias a los participantes que tuvieron la paciencia de resolver la tarea.

Quiero dedicar este trabajo a mis maestros (de todas las clases y todos los tipos), por coincidir en el tiempo y quedarse a compartir algún conocimiento conmigo.

Índice General

Resumen	1
Lista de abreviaturas	2
Introducción	3
Marco Teórico	6
Método	46
Resultados	58
Discusión	69
Referencias	80
Anexo A. Evaluación inicial	89
Anexo B. Fases de la tarea de TSr	97
Anexo C. Resultados	105

Índice

Resumen	1
Lista de abreviaturas	2
Introducción	3
Marco Teórico	6
Tiempo	8
El tiempo en los seres vivos	10
Timing intervalar y las tareas para evaluarlo	13
El método de reproducción de duraciones	15
La propiedad escalar	17
La teoría del timing escalar con la forma de un reloj interno	22
SET, la propiedad escalar y el método de reproducción	26
Atención	30
Atención dirigida al tiempo	33
La división de recursos entre duraciones	37
Espacio	42
El elemento espacial del timing intervalar	44
Método	46
Propuesta experimental	46
Participantes	47
Materiales	47
Procedimiento	47
Preguntas e hipótesis	54
Duración	55
Demanda de atención	55
Componente espacial de la respuesta	56
Equipo	57
Resultados	58
Análisis de datos	58
Efectos esperados	59
El efecto del factor Duración (T)	60

El efecto del factor DA	61
El efecto del factor CE	63
El efecto del factor Equipo	64
Los efectos no esperados	64
El efecto de la Duración T sobre la imprecisión DPA	64
El efecto de la DA sobre el tiempo de reproducción t	65
El efecto del CE sobre la latencia de reproducción l_{rep}	65
La interacción entre factores	65
El efecto de la interacción DA·Duración sobre t	66
El efecto de la interacción DA·Duración sobre DPA	67
Discusión	69
Análisis de resultados	70
La duración programada del estímulo por reproducir (Duración T)	70
La cantidad de intervalos por atender simultáneamente (DA)	72
La interacción de factores (DA·Duración) sobre	
los indicadores de ejecución t y DPA	74
El componente espacial de la respuesta de reproducción (CE)	76
El aparato de registro con que se resolvió la tarea (Equipo)	77
Hacia una conclusión...	77
Referencias	80
Anexo A. Evaluación inicial	89
Prueba de agudeza visual con los optotipos de Snellen	89
Prueba de discriminación cromática con las láminas de Ishihara	91
Prueba de control motor con laberintos	92
Resultados	93
Prueba de agudeza visual	93
Prueba de discriminación cromática	94
Prueba de laberinto	95
Anexo B. Fases de la tarea de TSr	97
Descripción de las tres fases de la tarea	97
Ensayos de práctica	97

Ensayos de prueba	98
Ensayos de repetición	99
Resultados por fase	99
Los tiempos en la sesión experimental	99
Ensayos de práctica	100
Ensayos de prueba	100
Ensayos de repetición	102
Conformación de la base de datos	102
Ensayos por sustituir y sustituidos	103
Anexo C. Resultados	105
Análisis de diferencias específicas	105
Pruebas de Scheffe	106

Resumen

El objetivo de este trabajo fue analizar la ejecución de timing intervalar en humanos con una tarea de reproducción y evaluando su relación con factores cognitivos como atención y movimiento como. Para ello se diseñó una tarea de Timing Simultáneo con reproducción (TSr) en la que los participantes atienden a la duración de uno, dos, tres o cuatro estímulos, con duraciones distintas y parcialmente simultáneas; y posteriormente, reproducen la duración de alguno de ellos en una configuración espacial de punto fijo o lineal en movimiento.

En los resultados, la cantidad de estímulos por atender simultáneamente y la duración del estímulo por reproducir tuvieron mayor impacto los tiempos de reproducción y su precisión, mientras que el componente espacial de la respuesta y el aparato usado para realizar las tareas tuvo mayor en las latencias para iniciar la respuesta. En particular, los registros obtenidos fueron relativamente inconsistentes con las descripciones dictadas para la propiedad escalar dentro de la teoría de timing escalar, con el aumento progresivo en el efecto de interferencia dentro de las teorías de recursos cognitivos compartidos y con la propuesta de la línea mental temporal. Con esto, se vuelve necesario hacer una revisión conceptual y metodológica de los aspectos que intervienen en la realización de una tarea como la de TSr, tanto en contextos experimentales como naturales.

Lista de abreviaturas

TSr	timing simultáneo con reproducción
DA	demanda de atención
CE	componente espacial de la respuesta
DPA	desviación proporcional absoluta
DP	desviación proporcional
T	duración del estímulo por reproducir
t	tiempo de reproducción
l_m	latencia para terminar la muestra del estímulo por reproducir (latencia de muestra)
l_{rep}	latencia para el iniciar la activación del sensor de reproducción (latencia de reproducción)

Introducción

Resulta difícil encontrar un aspecto de nuestra vida que pueda ser descrito sin usar, por lo menos, alguna referencia temporal o espacial. En este mundo, lo que para nosotros existe: *es*, *está*, y *hace*, en el espacio y el tiempo. Para realizar cualquier actividad usamos información sobre la duración, longitud y ubicación de los objetos y eventos. En contextos naturales y experimentales, las tareas que realizan los organismos requieren que éstos operen, explícita o implícitamente, con estas dimensiones.

Las preguntas *¿qué es el tiempo?* y *¿qué es el espacio?* no son novedosas, pues han ocupado durante siglos a curiosos e investigadores de diversas ramas del conocimiento (Blanck-Cereijido & Cereijido, 2002; de la Peña, 2005; Díaz, 2011; Evans, 2004; Fernández, 2005; Gruart, Delgado, Escobar & Aguilar, 2002; Valencia & Olivera, 2005; Xirau, 1993). Las diversas maneras en que el tiempo y espacio caracterizan a los objetos y eventos del mundo repercuten en la variedad de definiciones, atributos y metodologías usadas para estudiarlos.

Los organismos deben adaptarse a ambientes complejos. Los sistemas conductuales y cognitivos –que entre otras cosas son producto de la evolución e historia de las especies e individuos– han ido conservando características favorables que permitieron a los organismos ajustarse a las estructuras de información que los rodeaban: su ambiente (Chater & Brown, 1999). La capacidad de percibir y ajustar la conducta a las propiedades del mundo es fundamental para la interacción entre los organismos y las condiciones particulares que enfrentan.

Sobre un contexto tan amplio es importante establecer las acotaciones claves para el desarrollo de este trabajo. Una distinción principal es la que se hace entre el tiempo objetivo y el tiempo subjetivo (Díaz, 2011; de la Peña, 2005). Aunque en secciones posteriores se problematiza el sentido de estos términos, aquí basta con decir que el tiempo objetivo (también llamado físico o real) es medido de manera *exacta* por los relojes; mientras que el tiempo subjetivo o psicológico es medido de manera *aproximada* por humanos y otros animales. Frecuentemente, el tiempo subjetivo muestra desviaciones respecto a los valores de tiempo objetivo –que es el sistema consensuado de medición de tiempo–. Aquí nos ocuparemos de los fenómenos relativos al tiempo subjetivo.

La segunda acotación se refiere a la medición del tiempo subjetivo como producto del procesamiento de información, que en su esquema más básico incluye: una fase inicial de captación de información, una fase final de emisión de acciones y el conjunto de operaciones intermedias que vinculan la primera fase con la segunda. Nos ocuparemos de dos funciones cognitivas que participan de este tipo procesamiento: atención (como modulador de la fase inicial) y movimiento (como modulador de la fase final).

Una persona conduce a alta velocidad en el tránsito de la ciudad (Morgan & Hancock, 2008; Baldauf, Burgard & Wittmann, 2009); en otro lugar, una libélula caza mosquitos para alimentarse cerca del lago (Frye, 2013; Wiederman & O'Carroll, 2013). Tanto la persona como la libélula enfrentan estructuras complejas de información, ya que enfrentan múltiples estímulos que cambian con el tiempo. La situación demanda que ambos organismos procesen simultáneamente varios ítems –con una dinámica espacial y temporal relacionada entre ellos, o no–, que son captados por modalidades sensoriales distintas, y que además poseen valores de importancia diferentes para el sujeto. La libélula y el humano deben emitir acciones precisas y coordinadas en relación a la información disponible en su medio, para alimentarse y llegar a otro lugar.

¿Cómo enfrentan los organismos este tipo de estructuras de información –tareas– permitiéndoles alimentarse o llegar a tiempo a una cita? ¿En qué condiciones responden eficientemente a dicha estructura de información y en qué condiciones no? Y finalmente ¿a qué mecanismos se debe el que la libélula y la persona resuelvan sus respectivas tareas de manera óptima?

En este trabajo analizamos un tipo particular de tarea diseñada con el objetivo de integrar experimentalmente operaciones de la atención y movimiento al procesamiento de información temporal como intervalos. Para resolverla el participante debe *medir* la duración de eventos simultáneos e independientes, y emitir una respuesta que refleje la integración de información temporal y espacial –duración y distancia–.

La idea que inspiró el diseño de la tarea analizada aquí fue la posibilidad de estudiar *timing*¹ como parte de un sistema más general de procesamiento de información: en relación con otras funciones cognitivas y útil para solucionar tareas diversas en contextos naturales.

¹ En adelante, *timing* se refiere a la capacidad de medir la duración de intervalos y/o a ajustar la emisión de conducta en relación a la estructura temporal del ambiente. La definición abarca tanto la percepción como la acción.

Marco Teórico

Vivimos en un mundo que presenta información estructurada en el tiempo y el espacio. En cada momento del día procesamos información proveniente de diversas fuentes y emitimos acciones partiendo de nuestras posibilidades, objetivos y contexto. Imaginando que pudiéramos congelar un instante para revisar el conjunto de información que contiene, notaríamos que dicha información ocurre como un entramado de elementos: tanto por la cantidad y cualidad de eventos y objetos presentes, como por las relaciones entre ellos. Este arreglo de información además es dinámico, pues la información que contiene cambia en función del tiempo.

Entonces, cualquier modelo explicativo basado en la imagen de un instante congelado es insuficiente para representar la forma en que los organismos respondemos a nuestro medio, la forma en que procesamos y damos sentido a ese flujo de información. ¿Cómo hacemos para coordinar e integrar las múltiples fuentes de información captadas por los sentidos, y después, para seleccionar y emitir las respuestas y acciones más adecuadas?²

Una persona conduciendo su automóvil por la ciudad (Morgan & Hancock, 2008; Baldauf et al, 2009) debe atender diversas señales relevantes y controlar la emisión de sus acciones con el fin de llegar a su destino. Las luces de tránsito, el movimiento de otros conductores, de los peatones, su propio movimiento y el del automóvil que conduce; las trayectorias, distancias y obstáculos en el carril, posiblemente, también tenga un límite de tiempo para completar el recorrido. Todo ello constituye un conjunto de objetos y eventos importantes para realizar la tarea. En esta situación se presentan secuencialmente múltiples eventos con duraciones distintas y relativamente independientes entre sí, pero también ocurren simultáneos o parcialmente simultáneos entre sí. ¿Cómo resuelve el conductor del automóvil este flujo de información?

En un conjunto de jazz cada músico debe *saber* la pieza musical que el grupo va a tocar: notas, tiempos, melodías (Faulkner & Becker, 2011). Sin embargo, al realizar improvisaciones en grupo, debe estar atento al conjunto de cambios que realiza sobre la pieza; mientras atiende a los cambios que simultáneamente están realizando sus compañeros. De esta forma se logra que el resultado sea distinto pero que mantenga la armonía y esencia de la pieza original. El músico debe seguir el desarrollo de dos o más líneas de información que ocurren de forma simultánea

² Este es un problema central dentro de las ciencias cognitivas, y se representa como el procesamiento de información que ocurre dentro de la *caja negra*.

—quizá una línea de información por cada instrumento—. La pregunta que salta a la vista es si el músico puede realmente atender los sonidos de la batería y del saxofón como unidades independientes, o bien, si utiliza otro tipo de estrategia para integrar los distintos instrumentos en una misma línea de información. ¿Cómo resuelve el jazzista esta tarea?

Por mencionar otros ejemplos: el cálculo y control de acciones que debe realizar el jardinero de un equipo de beisbol para elegir la mejor ruta de acción después de que el bateador ha golpeado la pelota. El trabajo que realiza un controlador de tráfico aéreo en la torre de control del aeropuerto³. Un niño intentando alcanzar con un martillo a los muñecos de plástico que salen y entran de sus madrigueras en el juego *golpear los topos*.

En estas situaciones las tareas representan estructuras de información que varían en contenido, cantidad, relevancia y fuente de procedencia; y sus implicaciones que van de lo lúdico hasta la sobrevivencia. Lo más importante es que en todas ellas se observa una interacción entre los tres factores relevantes para este trabajo: tiempo, atención y espacio.

Con estas ilustraciones podemos ya especificar las preguntas de investigación. Asumiendo que la información sobre la duración de los eventos es imprescindible para resolver óptimamente una determinada tarea: ¿cómo miden los organismos la duración de eventos ocurriendo simultáneamente? y ¿cómo emiten respuestas que integran información espacial y temporal —por ejemplo, durante el movimiento—?

Tiempo, atención, y espacio han sido constructos ampliamente desarrollados por distintas disciplinas. Elegimos presentar aquí secciones breves, organizadas en tres bloques principales que progresivamente articulan el estudio del tiempo subjetivo con los factores atencionales y de movimiento que lo afectan.

³ La dificultad e importancia de este trabajo requiere que el personal que lo realiza se apoye en sistemas automáticos de predicción y control aéreo (Smith & Kosslyn, 2008).

Tiempo

“Quid est ergo tempus? Si nemo ex me quaerat, scio; si quaerenti
explicare velim, nescio”

Confesiones XI, Agustín de Hipona

Tiempo, igual que *espacio* y *ser*, están entre los conceptos más evasivos para la comprensión humana (Evans, 2004). Tantas actividades y experiencias ligadas a la dimensión temporal hacen difícil tener un enfoque de estudio único y un concepto teórico unívoco. En cambio, su diversidad impone la necesidad aumentar el nivel de abstracción, generando un constructo de *tiempo* muy amplio (Pöppel & Bao, 2014).

No podemos ver, tocar u oír al tiempo. En el campo de la física, se ha puesto en duda que éste exista, que sea verdaderamente *algo* en el universo. Estas posturas niegan que el tiempo sea una entidad independiente de la mente humana, o independiente de los objetos y eventos que ocurren en el mundo (Comte-Sponville, 2002; Gleik, 2013). La discusión es amplia e interesante pero no es tema principal de este trabajo.

Podríamos revisar el desarrollo histórico de la idea de tiempo en la vida cotidiana, entre diversas culturas o dentro de distintas disciplinas (Blanck-Cereijido & Cereijido, 2002a; de la Peña, 2005; Gleik, 2013; Valencia & Olivera, 2005); y a pesar de la cantidad de información disponible, la dificultad de resolver la pregunta ontológica *¿qué es el tiempo?* suele hacernos desviar la atención hacia a una versión más práctica de la misma: *¿qué ocurre en el tiempo?*, o *¿qué hacemos en el tiempo?* Precisamente, las descripciones de tiempo más accesibles y utilizadas parten de la *medición* de aquello que ocurre en el tiempo: eventos, objetos, relaciones y cambios.

Como hemos dicho antes, comúnmente se distinguen dos aspectos del tiempo: el tiempo objetivo y el tiempo subjetivo⁴ (Comte-Sponville, 2002; de la Peña, 2005; Díaz, 2011). Siguiendo lo enunciado por el párrafo anterior, la diferencia entre ambos tipos de tiempo radica

⁴ También se puede hacer la distinción entre “*tiempo* en general y *tiempo subjetivo* en particular” (Pöppel & Bao, 2014). La claridad y validez de estas distinciones son materia de debate. Sin embargo, en este trabajo la distinción entre tiempo objetivo y subjetivo es importante porque sustenta metodológicamente la comparación básica para todos los procedimientos experimentales.

en el instrumento con el cual se miden. El tiempo subjetivo es una medición de eventos usando la mente, el sistema cognitivo o la conducta. El tiempo objetivo es una medición de eventos realizada por aparatos diseñados y convenidos socialmente: los relojes⁵.

Precisamente, la idea de tiempo surge filogenética y ontogenéticamente de la observación más simple de los eventos del mundo: los cambios en la posición de los cuerpos celestes, la irreversibilidad del proceso de envejecimiento, la regularidad con que se repiten fenómenos geológicos y corporales, o la importancia de organizar la información en esquemas del tipo “pasado-presente-futuro” (Blanck-Cereijido & Cereijido, 2002a,b; Droit-Volet, 2013).

Los aparatos de medición del tiempo objetivo –desde los que funcionaron desplazando volúmenes regulares de arena o proyectando sombras en el suelo (Gruart et al, 2002) hasta los modernos relojes atómicos⁶– representan la *observación* y registro ordenado de eventos sucediendo con distinto grado de regularidad –ya sea el movimiento de los cuerpos celestes o la cantidad de oscilaciones de cierto átomo–.

Aunque esto parece relativizar la diferencia entre el tiempo objetivo y subjetivo⁷, diversas experiencias dan cuenta de la importancia de distinguirlos, precisamente, por las características de la medición que cada uno representa. Las cronometrías que realizan un reloj común y un organismo sobre la duración del mismo evento suelen ser diferentes. Mientras las mediciones del reloj sobre la duración x son consistentes entre distintos ensayos; las mediciones subjetivas que realizan el ser humano o una rata, sobre la misma duración x , varían entre sí, ensayo tras ensayo. Así, *los relojes* objetivos y subjetivos difieren tanto en la precisión como en la consistencia de sus mediciones.

⁵ Aunque esta es la definición más práctica de tiempo, resulta evidente que presenta cierta circularidad. Para escapar de la difícil definición ontológica *tiempo*, se recurre a hablar de lo que ocurre *en el tiempo*: el reloj produce eventos discretos y estandarizados que ocurren *en el tiempo*; el tiempo es lo que mide el reloj y el reloj es lo que mide el tiempo.

⁶ Estos últimos han rebasado por mucho las capacidades de discriminación humana (NIST, 2015).

⁷ Nos referimos a la idea presentada de que el tiempo –si existe– es uno solo; y que la aparente diferencia entre los tipos de tiempo únicamente se encuentra en los aparatos usados para registrarlo.

El tiempo en los seres vivos

“The brain is not an organ of thinking but an organ of survival, like claws and fangs. It is made in such a way as to make us accept as truth that which is only advantage”

Albert Szent-Györgyi

Ajenos a las discusiones académicas sobre el concepto de tiempo, durante miles de años los seres vivos se han adaptado a las condiciones que su entorno les presenta; incluida esa aparente estructura en la que se organizan los eventos y objetos del mundo, y que solemos describir mediante referencias temporales y espaciales.

En la vida cotidiana el tiempo y el espacio permean la forma en que percibimos y actuamos, hasta el punto en que parece imposible imaginar nuestra experiencia sin estos esquemas (Evans, 2004). Para la mayoría de los seres vivos –por lo menos para todas las plantas y animales estudiados (Fernández, 2002)– es importante medir de alguna forma el paso del tiempo. En ciertos niveles de la escala filogenética los organismos necesitan, además, guardar y aprender información temporal que aumente sus posibilidades de sobrevivir en las condiciones ambientales específicas que enfrentan (Roberts, 1998). Desde el punto de vista de la especie humana: todo aquello que *exista, sea y haga* en el mundo, *existe, es y hace* en el tiempo y el espacio.

Las teorías abiogénicas apuntan que en la etapa pre-biológica de la Tierra ya existían procesos cíclicos⁸ que construyeron ambientes periódicos en distintas escalas: el día y la noche, las estaciones del año o los cambios en la altitud de la marea. Bajo esta idea, las primeras unidades orgánicas adquirieron una ventaja adaptativa al ajustar sus primitivos sistemas de intercambio energético a dichas regularidades. Estos mecanismos de regulación cíclica irían quedando impresos, paulatinamente, en la versión primitiva del código genético (Blanck-Cereijido & Cereijido, 2002a; Gruart et al, 2002). Dicha hipótesis pretende explicar el origen de una de las formas de regulación temporal más importante para los organismos: los ciclos biológicos.

⁸ Procesos de Morowitz.

Quienes estudian estas funciones las entienden como parte del *tiempo biológico*. Sin embargo, éste no constituye otro *tipo* de tiempo (junto al objetivo y subjetivo), sino que se refiere al conjunto de funciones que los organismos han desarrollado para regular y controlar su actividad *biológica* (alimentación, reposo, reproducción)⁹ en relación al nicho temporal (Gruart et al, 2002) que enfrentan.

Así, el tiempo psicológico (subjetivo, timing, procesamiento de información temporal, cognición temporal, aprendizaje temporal, control temporal de la conducta) se refiere al conjunto de funciones que permiten a los organismos regular y controlar su actividad –psicológica, cognitiva, conductual– dados los referentes temporales que enfrentan¹⁰.

Con la idea de organizar la forma en que diversas funciones ocurren, dependientes de la dimensión temporal¹¹, se ha sugerido utilizar el orden de magnitud de tiempo que ubica cuatro principales escalas funcionales: los microsegundos, los milisegundos, los segundos y la escala circadiana (Buonomano & Karmarkar, 2002; Merchant & de Lafuente, 2014). Clasificaciones alternativas (Church, 1984; Roberts, 1998) distinguen solamente entre las mediciones circadianas y las intervalares. Tomando como referencia el orden de magnitud de tiempo (Buonomano & Karmarkar, 2002; Merchant & de Lafuente, 2014), las cuatro escalas funcionales son:

1. La escala de microsegundos incluye fenómenos como la escucha binaural y la ecolocalización¹².
2. La escala de los milisegundos pertenece a la categoría *timing intervalar* e incluye actividades que no están mediadas directamente por la consciencia, como percibir y

⁹ Agnès Gruart y colaboradores (2002) consideran que el concepto de *tiempo biológico* es fundamental para explicar la adaptación de los organismos; entendida como la coordinación de funciones orgánicas a lo largo del tiempo.

¹⁰ Una perspectiva alternativa define el tiempo subjetivo como la experiencia de las propiedades temporales de eventos y objetos: su orden, duración, momento de ocurrencia y otras relaciones entre sí. Por ejemplo, incluiría la capacidad de decidir si dos eventos ocurren simultánea o secuencialmente (Arstila & Lloyd, 2014). En ésta el énfasis se pone en el hecho de que debido a que carecemos de receptores sensoriales específicos para el tiempo, la experiencia temporal se construye a partir de la detección de relaciones entre objetos y eventos. Además esta experiencia se complementa con información proveniente de las operaciones cognitivas con las que cuenta el sistema. El tiempo subjetivo es el que se mide con la mente. Cognición temporal es el conjunto de habilidades para computar mentalmente intervalos de tiempo (Cassenti, 2011). Aprendizaje temporal incluye estimación, discriminación, regulación y control temporal; los primeros dos refieren el aprendizaje del tiempo en sí, mientras los segundos refieren a la adaptación conductual a las regularidades temporales (López, 2012).

¹¹ Esta clasificación también tiene por objetivo organizar el conjunto de términos relativos al tiempo que son ocupados indiscriminadamente en la literatura (Buonomano & Karmarkar, 2002).

¹² La escala de microsegundos va de 200 μ s a 100'000 μ s (Buonomano & Karmarkar, 2002; Merchant & de Lafuente, 2014).

articular el habla, ejecutar y controlar movimientos finos, o bien, calcular la intercepción de objetos¹³.

3. La tercera escala corresponde a las funciones expresadas en el rango de segundos (y hasta los minutos)¹⁴. Esta escala también se incluye dentro del *timing intervalar* pero implica una cuantificación explícita de intervalos, por lo que su control depende de procesos cognitivos conscientes.
4. La cuarta y última escala representa funciones de oscilación circadianas que optimizan la ejecución de actividades en relación a las regularidades ambientales que ocurren en ciclos aproximados de 24 horas. Diversos procesos metabólicos, los ciclos de sueño-vigilia y las conductas de forrajeo entran dentro de esta escala.

Las cuatro escalas coinciden en agrupar funciones de distinto tipo (conductuales, metabólicas, sociales) en diversos organismos (plantas, animales, mamíferos) que, en consecuencia, enfrentan demandas ambientales específicas. Como se dijo antes, dependiendo del organismo y su especie, las funciones que realiza tendrán implicaciones que van desde lo lúdico hasta la sobrevivencia. Además, la diferente ubicación de estas funciones dentro del orden de magnitud de tiempo se empareja con diferencias en los mecanismos que se suponen para su ejecución.

Aquí nos centraremos en las funciones que se ubican en la segunda y tercera escala, aquellas que ocurren y dependen de intervalos, y se conocen en general como *timing intervalar*.

¹³ La escala de milisegundos va de los 200 ms a los 1'000 ms (Merchant & de Lafuente, 2014), aunque algunos sugieren que el rango inicia con 10 ms (Buonomano & Karmarkar, 2002). John A. Michon (1985; como aparece en Buonomano & Karmarkar, 2002) señala que sólo el timing con intervalos menores a 500 ms es de tipo perceptual, se realiza de forma paralela y queda fuera del control cognitivo.

¹⁴ En la literatura se debate el rango de duraciones que puede alcanzar la categoría de timing intervalar. En algunos casos, la escala de tiempo clasificada como timing intervalar va de los segundos y los minutos hasta las horas (Balsam, Sánchez-Castillo, Taylor, Van Volkinburg & Ward, 2009).

Timing intervalar y las tareas para evaluarlo

“Solamente el espíritu, que recuerda su estado pasado, que anticipa su estado futuro, puede leer en los relojes una duración”

André Comte-Sponville

Timing es un anglicismo utilizado como verbo o sustantivo. En ambos casos, la palabra refiere a la acción de detectar la organización temporal de eventos, o bien, su duración; además de la posibilidad de emitir conductas reguladas por parámetros temporales. En términos generales, *timing* y *tiempo subjetivo* se pueden aplicar a una amplia gama de funciones, que incluyen todo el orden de magnitud de tiempo. Sin embargo, la acepción que más nos interesa implica a un organismo percibiendo o actuando *en* intervalos de tiempo. Es decir, midiendo duraciones –¿cuánto duró *x*?– y ubicando eventos en el tiempo –¿hace cuánto ocurrió *x*? o ¿cuánto falta para que ocurra *x*?– (Merchant & de Lafuente, 2014)¹⁵.

Como hemos dicho antes, este tipo de funciones se conocen comúnmente como *timing intervalar*; y su medición consiste en la asignación de un valor a la separación o distancia –el intervalo– entre dos puntos discretos –el inicio y el final del intervalo–. A diferencia de las funciones que se coordinan con las oscilaciones circadianas (Fernández, 2002; Gruart et al, 2002), las de *timing intervalar* se relacionan con eventos que pueden ocurrir en cualquier momento, varias veces o ninguna en el mismo día. Estas diferencias sugieren la necesidad de mecanismos distintos para llevar a cabo dichas funciones (Buonomano & Karmarkar, 2002; Merchant & de Lafuente, 2014; Roberts, 1998; Church, 1984) y, de hecho, su estudio suele abordarse con enfoques disciplinares distintos.

El estudio de *timing* desde los paradigmas de la psicología experimental se puede separar en dos enfoques principales: el del control temporal de la conducta¹⁶ y el de la percepción de tiempo¹⁷ (Gibbon & Allan, 1984). Aunque ambos enfoques parten de supuestos teóricos distintos, metodológicamente coinciden al evaluar la diferencia entre registros de tiempo objetivo

¹⁵ Aunque la experiencia de duración es una de las más estudiadas, algunos autores (Block, 1990; 2003) proponen integrar al concepto de *timing* otro tipo de experiencias como las de sucesión, localización o la de perspectiva temporal.

¹⁶ Derivado de los estudios de aprendizaje y condicionamiento, realizando experimentos principalmente en animales no humanos (Guilhardi, Menez & López, 2012).

¹⁷ Derivado de los estudios psicofísicos y cuyos experimentos se aplican principalmente en humanos.

y subjetivo. Los investigadores asumen que las respuestas de los organismos son estimados directos de la duración de un estímulo objetivo, y que las discrepancias entre el estímulo y la respuesta se deben a las condiciones ambientales que intervienen en la tarea, o a las condiciones propias del organismo y sus sistemas de procesamiento (Allan, 1979; Brown & West, 1990).

De todos los procedimientos útiles para evaluar timing nos interesa presentar un conjunto de tareas que fueron muy populares en la década de los cincuenta, aplicadas principalmente a participantes humanos, y diseñadas para evaluar timing. Los cuatro métodos clásicos incluyen: la tarea de estimación verbal, la de comparación, la de producción y la de reproducción (Allan, 1979; Block, 2003; Wearden, 2003). Ésta última, la que más interesa a los objetivos de este trabajo, consiste en que el participante emita una respuesta que iguale la duración de un estímulo presentado previamente por el investigador¹⁸.

Un par de décadas después de su periodo de mayor uso, los métodos clásicos recibieron críticas (Carlson & Feinberg, 1970; como aparece en Allan, 1979) que pusieron en duda su validez y potencial para generalizar los resultados que producían. Los artículos de revisión escritos por Lorraine Allan en 1979 y 1998, son muestra de un cambio de paradigma en el diseño y uso de tareas de timing para humanos: en lugar de la amplia gama de tareas y modelos discutidos a finales de los setenta (Allan, 1979), las siguientes décadas se caracterizaron por recomendaciones para acotarlos y especializarlos (Allan, 1998; Block, 2003).

Aunque el método de reproducción ha recibido menor atención que otros procedimientos –como fuente de evidencia y como base para proponer modelos explicativos– lo tomamos aquí como un contexto de análisis relevante; precisamente, para contrastar y someter a prueba el avance de las principales tendencias explicativas en el campo.

¹⁸ La tarea de producción se parece a la de reproducción en términos de que la respuesta se extiende en el tiempo hasta cubrir una cierta duración; pero difiere en el hecho de que la duración por producir no se presenta inmediatamente antes de la ejecución. En lugar de ello se presenta alguna señal asociada previamente a la duración – por ejemplo, unidades convencionales de tiempo, luces, tonos–. Los ejemplos más claros de tareas de producción son los programas de intervalo fijo y pico (Roberts, 1998).

El método de reproducción de duraciones

“There is nothing so theoretical as a good method”

Anthony G. Greenwald

Desde los años cincuenta, pasando por un momento de diversificación de tareas a finales de la década de los setentas¹⁹, y hasta ahora, el método de reproducción ha ofrecido condiciones de análisis relevantes para el estudio del timing intervalar (Allan, 1978; 1979; García-Pérez, 2014; Jazayeri & Shadlen, 2015; Wearden, 2003; 2014²⁰).

Las tareas que emplean el método de reproducción de duraciones pueden variar por las características de los estímulos que contienen, las respuestas y las demandas impuestas; pero deben coincidir en solicitar al participante emitir una respuesta que iguale la duración de un intervalo observado previamente (Allan, 1978; Wearden, 2003). Una tarea de este tipo se divide en dos fases: la presentación del estímulo –en la que el participante percibe el intervalo presentado– y el registro de la respuesta –en la que el participante produce el intervalo– (Wearden, 2014; Jazayeri & Shadlen, 2015).

En la versión más simple de la tarea, la primera fase empieza cuando el participante detecta la señal de inicio del intervalo y registra el aumento de su duración hasta que detecta la señal que marca el final del mismo. La segunda fase de la tarea suele iniciar inmediatamente después de la anterior, con el participante emitiendo alguna conducta (o detectando algún evento) que señale el inicio de su reproducción y termina hasta que decide emitir otra señal para finalizar la reproducción. Esta decisión se toma considerando que la separación que dejó entre las últimas dos señales –su reproducción– iguala la separación entre las primeras dos, es decir, la magnitud del intervalo que percibió²¹.

¹⁹ En esta década se incluyó al método de reproducción dentro de los procedimientos de escalamiento de duración y a su vez dentro del conjunto de tareas de ajuste proporcional (Allan, 1978; 1979).

²⁰ Recientemente, John Wearden (2003; 2014) ha promovido revisar los métodos clásicos, incluido el de reproducción, para desarrollar modelos cuantitativos que contribuyan explicar timing; integrando y contrastando la evidencia obtenida con los procedimientos más autorizados como bisección y generalización temporal.

²¹ Existen varias formas de configurar la emisión de la respuesta en la segunda fase del método de reproducción. Se puede pedir al participante que emita una respuesta sostenida (por ejemplo, si la conducta es presionar un botón, la reproducción inicia presionándolo, continúa manteniéndolo presionado, y termina soltando el botón). También se puede pedir al participante que emita una conducta para marcar el inicio y otra para el final del intervalo (se presiona y suelta rápidamente el botón –como un clic– para iniciar el intervalo, tras pasar el tiempo necesario, se presiona y

Durante la fase de respuesta la decisión más importante es la emisión de la conducta que marca el final de la reproducción. Esta decisión depende de una *comparación continua* de la duración percibida y la que se está produciendo. En contraste, en una tarea de discriminación o de comparación la decisión más importante es de tipo categórica y se toma una vez que terminó el intervalo –¿el intervalo fue corto o largo?–. Por este motivo, algunos sugieren que las tareas de reproducción generan mayor demanda cognitiva que las de respuestas categóricas (Baudouin, Vanneste, Isingrini y Pouthas, 2006; como aparece en Rattat & Droit- Volet, 2012).

Algunas críticas hacia este procedimiento apuntan a que metodológicamente es inadecuado comparar el intervalo percibido con el intervalo reproducido, ya que, aparentemente, en la primera fase de la tarea el participante se encuentra en un estado más “pasivo” que en la segunda fase (G. Ekman y M. Frankenhaeuser, 1957; como aparece en Allan, 1978). Esto también se ha expresado como una diferencia de demandas atencionales y motoras que el participante enfrenta entre las dos fases (Rattat & Droit-Volet, 2012). La capacidad de memoria y su decaimiento con el tiempo es otro factor a considerar, debido a la ocurrencia secuencial, y siempre en el mismo orden, de la primera y segunda fase (Allan, 1978).

A pesar de ello, las demandas impuestas por tareas que incluyen la producción y reproducción de intervalos parecen emular de mejor manera la forma en que usamos duraciones para interactuar con el ambiente en contextos naturales. En lugar de una transformación a unidades convencionales o simbólicas –incluyendo la transformación a valores relativos como “corto” y “largo”–, estas tareas implican la emisión de conducta en relación a intervalos; esto es: actuar en el tiempo²². Finalmente, el método de reproducción permite analizar en cada ensayo la relación entre tiempo objetivo y subjetivo, tanto en términos absolutos como proporcionales.

Tomamos los pros y contras expuestos aquí como parte de la justificación para utilizar el método de reproducción de duraciones como tarea principal. Aunque el procedimiento merece críticas en términos del control experimental, este trabajo se concentra en analizar el efecto de

suelta nuevamente el botón para terminar; Lejeune & Wearden, 2009). Otra opción consiste en que el participante marque únicamente el final de la reproducción (el investigador presenta una señal de inicio de reproducción y la tarea es decidir cuándo terminar el intervalo: presionando y soltando rápidamente el botón). Esto último se llama reproducción por espera (Wearden, 2003; Lejeune & Wearden, 2009). Una manipulación adicional consiste en introducir una demora entre la presentación del intervalo y el inicio de la reproducción del mismo. La configuración sostenida requiere una reproducción *llena* por una conducta instruida por el investigador, lo que permite introducir manipulaciones de interés para este trabajo (la integración de información espacial).

²² El mejor ejemplo de timing por reproducción en contextos naturales son situaciones que impliquen imitación.

algunos de los factores que se han descrito como variables de confusión, y enfocarlos aquí como posibles variables explicativas. Así, utilizamos una tarea de reproducción con el objetivo de analizar el efecto de la atención sobre la fase de presentación del intervalo, y del movimiento sobre la fase de respuesta.

Las siguientes dos secciones se dedican a la presentación de la propiedad escalar y el modelo de timing escalar; se propone terminar este bloque con una integración de dichas propuestas en relación al método de reproducción de duraciones.

La propiedad escalar

“People want to see patterns in the world. It is how we evolved. We descended from those primates who were best at spotting the telltale pattern of a predator in the forest, or of food in the savannah. So important is this skill that we apply it everywhere, warranted or not”

Benoît Mandelbrot

Dentro de la complejidad y variabilidad que caracteriza al ambiente, llama la atención la identificación de regularidades presentes en determinados fenómenos. Una de ellas implica la conservación de la forma o la estructura de un fenómeno a pesar de las diferencias de tamaño con que se presente. Por ejemplo, al mirar desde un avión las olas en el mar o la forma de las nubes, difícilmente podemos saber el tamaño que tienen o la distancia a la que estamos de ellas. Esto es porque las olas y las nubes son fenómenos que conservan una cierta forma independiente del tamaño en que se presenten (Chater & Brown, 1999).

No todos los objetos en el mundo presentan esta característica. Para muchos, la forma que los caracteriza está anclada a un rango restringido de magnitudes: la altura de los pisos en un edificio estándar o el tamaño de un automóvil suelen estar restringidos a la altura de un adulto promedio. En estos objetos, la forma depende del tamaño que tienen. En los ejemplos del párrafo anterior, la propiedad de un fenómeno u objeto de conservar su estructura o forma a través de distintas escalas de magnitud se denomina invarianza escalar.

Considerando que esta propiedad caracteriza a diversos objetos y fenómenos físicos del ambiente, para algunos ha resultado lógico suponer que los seres vivos poseemos sistemas cognitivos y conductuales que reflejan, por adaptación, dicha propiedad escalar. La idea es que los organismos cuyos sistemas perceptuales y motores se adaptaron a las regularidades ambientales, como la propiedad escalar, obtuvieron ventajas para interactuar con su ambiente (Chater & Brown, 1999).

Los estudios en psicofísica se han orientado al análisis de la relación entre las magnitudes físicas y las magnitudes psicológicas (Allman, Teki, Griffiths, Meck, 2013). Por décadas, los investigadores han identificado diversos ejemplos –propios de los sistemas sensoriales y motores– que expresan la propiedad escalar (Fraisse, 1984; como aparece en Allman et al, 2013; Chater & Brown, 1999).

En relación al timing intervalar se puede hablar de dos tipos de relación psicofísica: la función psicofísica –que expresa la relación entre el tiempo subjetivo y el objetivo–, y la función psicométrica –que describe la relación entre la probabilidad de una cierta respuesta temporal y la duración programada o tiempo objetivo²³– (García-Pérez, 2014). La función psicofísica con la forma de la propiedad escalar, se caracteriza por dos aspectos (Allan, 1979; 1998; Allman et al, 2013; Block, 2003; Lejeune, 1998; Wearden, 2003):

- Una relación lineal positiva entre el tiempo objetivo y el tiempo subjetivo. Esto es: la media de la duración percibida (reportada) aumenta linealmente en función del incremento de la duración programada del estímulo²⁴ (Figura 1).
- Una relación lineal entre el tiempo objetivo y la amplitud de la distribución de respuestas que representan el tiempo subjetivo. Esto es: la variabilidad de la duración percibida (reportada) aumenta en función del incremento de la duración objetiva del estímulo (Figura 2). Esta propiedad, que caracteriza a la relación psicofísica, se conoce como Ley de Weber.

²³ La primera función se obtiene de métodos como el de reproducción, mientras que la segunda se obtiene frecuentemente de tareas con juicios temporales categóricos o comparativos.

²⁴ A esto se le llama también precisión de las medias (*mean accuracy*): que los estimados de duración son, en promedio, precisos (Wearden, 2003). Un ejemplo de precisión de las medias en datos reales de reproducción se puede encontrar en un artículo de Lorraine Allan, para cada uno de los participantes que evaluó (Tabla 1 en Allan, 1978) y en el promedio grupal de la ejecución.

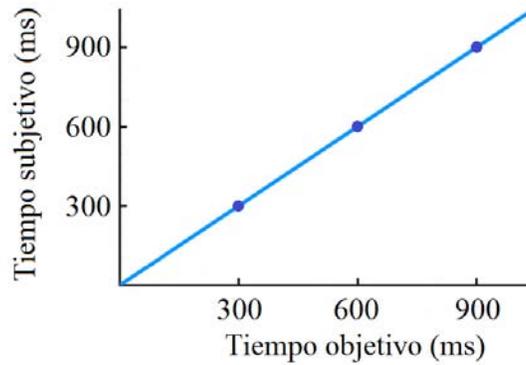


Figura 1. Ilustra una relación lineal positiva entre el tiempo objetivo (eje de las abscisas) y el valor promedio de tiempo subjetivo (eje de las ordenadas). Los valores de la gráfica son únicamente ilustrativos.

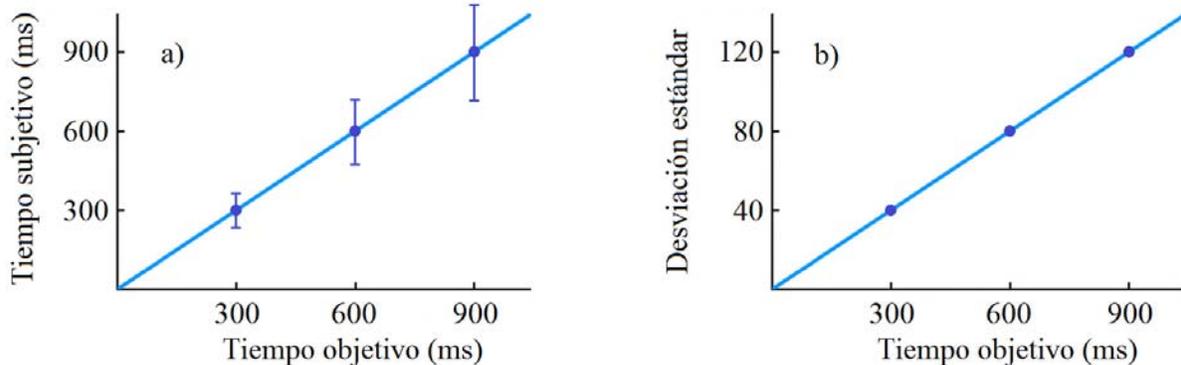


Figura 2. a) Muestra las diferencias en la variabilidad de respuestas (longitud de las líneas verticales) asociadas al valor promedio de tiempo subjetivo (eje de las ordenadas), mismo que aparece como función del incremento en los valores del tiempo objetivo (eje de las abscisas). b) Representación alternativa: muestra la relación lineal positiva entre el tiempo objetivo (eje de las abscisas) y algún indicador de dispersión o variabilidad de respuestas, en este caso, la desviación estándar (eje de las ordenadas). Los valores de las gráficas son únicamente ilustrativos.

En algunas tareas de timing la propiedad escalar se describe de maneras distintas. Por ejemplo, en un programa de reforzamiento de intervalo fijo: el momento de transición entre el periodo de pocas respuestas al periodo de tasa creciente de respuestas ocurre, en promedio, “a una proporción constante del intervalo programado” (López, 2012; Meck & Church, 1984). Las figuras 1 y 2 ilustran la forma ideal de una función psicofísica obtenida con el método de reproducción y que cumple con la descripción de la propiedad escalar.

Para analizar si se cumple esta propiedad en un conjunto de datos se ha propuesto evaluar la constancia en el coeficiente de variación. Este indicador corresponde a la razón entre la desviación estándar y la media del tiempo subjetivo (Allan, 1979; 1998; López, 2012; Wearden, 2003), por lo que su valor es una medida de la variabilidad del tiempo subjetivo relativo a su valor promedio. Entre menor sea el valor del coeficiente de variación, menor será la variabilidad de los juicios temporales y se considera que mayor es la sensibilidad al tiempo objetivo (Lejeune, 1998; Rattat & Droit-Volet, 2012). Sin embargo, lo más importante es determinar si existe constancia del coeficiente de variación a lo largo de los distintos valores de tiempo objetivo, ya que esto refleja invarianza escalar (Figura 3)²⁵ (Allan, 1998; Allman et al, 2013; Lejeune, 1998).

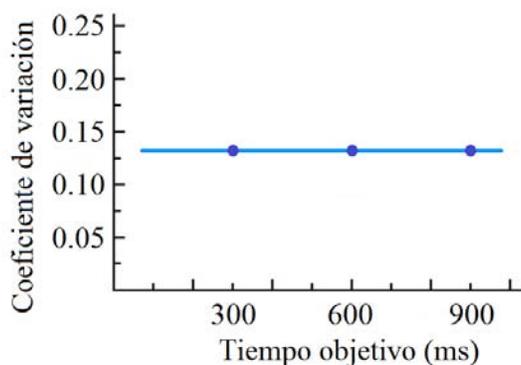


Figura 3. La razón entre la variabilidad (D.E.) y el promedio del tiempo subjetivo produce constancia en el coeficiente de variación (eje de las ordenadas) a lo largo de los distintos valores de tiempo objetivo (eje de las abscisas). Los valores de la gráfica son únicamente ilustrativos.

Una alternativa para evaluar la propiedad escalar consiste en analizar el solapamiento de las funciones psicométricas²⁶. Cuando se re-escala la magnitud absoluta del tiempo objetivo a una misma escala, transformándola en valores relativos²⁷, la función psicométrica se puede comparar con otras obtenidas con rangos de duración distintos, incluso bajo condiciones experimentales distintas.

²⁵ Se refiere a una constancia en la distribución (forma) de error del tiempo subjetivo, a través de los distintos valores de tiempo objetivo.

²⁶ Obtenidas con procedimientos como generalización, bisección temporal (García-Pérez, 2014). Esto también se logra con las funciones psicofísicas obtenidas con los métodos de producción de tiempo como el de intervalo fijo, el procedimiento de pico (Roberts, 1998) y el método de reproducción.

²⁷ Se obtiene la proporción de cada duración evaluada en relación al valor máximo del rango presentado al participante. Lo mismo se hace para la tasa de respuesta (este índice se obtiene en tareas como bisección o generalización): se calcula la proporción de una cierta tasa de respuesta en relación a la tasa máxima o tasa final obtenida (un ejemplo de esto último se muestra en la figura 4).

En el caso de cumplir la propiedad escalar, dos funciones –obtenidas con rangos de duraciones distintas o en distintos procedimientos– mostrarán un sobrelape gráfico de sus formas (Figura 4). Esto también es una expresión de invarianza escalar en el sentido de la conservación de la forma del fenómeno a través de distintas magnitudes (Allan, 1998; Allman et al, 2013; Chater & Brown, 1999; Wearden, 2003; Roberts, 1998).

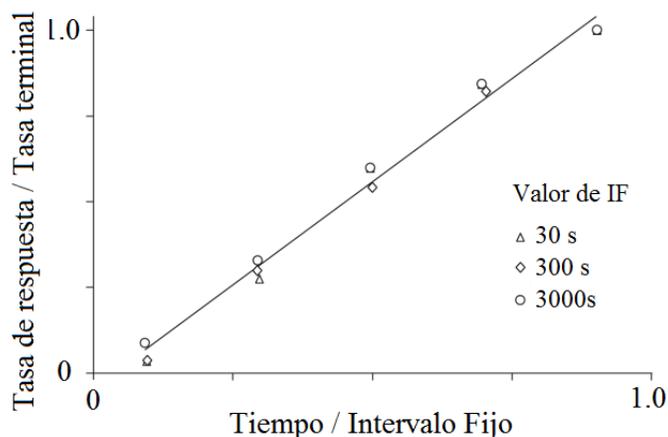


Figura 4. Ilustra el sobrelape de funciones con los datos del estudio clásico de Peter B. Dews en 1970. Como se observa, una sola función (línea diagonal creciente) describe bien las tasas de respuesta de palomas bajo tres programas de intervalo fijo distintos (30, 300 y 3000 s), cuando éstas se han transformado a magnitudes relativas (imagen adaptada de Crystal, 2012).

Mucha de la investigación sobre timing intercalar se preocupa por evaluar el cumplimiento de la propiedad escalar en sus datos. Su identificación es importante porque frecuentemente se describe como un rasgo *fundamental* en timing (Roberts, 1998). Por ejemplo, su observación en distintos procedimientos y especies sugiere a algunos investigadores la existencia de un mecanismo común de timing intercalar (Merchant, Zarco & Prado, 2008), por lo menos para rangos de duración dentro de los cientos de milisegundos; mientras que otros piensan que cualquier modelo que pretenda explicar timing –independientemente de las variantes procesuales que asuma– debe incluir esta propiedad como descriptor (Allman et al, 2013).

John Wearden (2003) describe su importancia apuntando que el cumplimiento de la propiedad es, por lo menos, condición necesaria para que un conjunto de datos cuente como evidencia *a favor* de uno de los modelos más populares en el área, el modelo de timing escalar.

La teoría de timing escalar con la forma de un reloj interno

“There is nothing as practical as a good theory”

Kurt Lewin

La diversidad de experiencias temporales se empata con las muchas y diversas explicaciones propuestas para describir la forma en que resolvemos tareas en las que la dimensión temporal es relevante (Allan, 1979; Block, 2003; Block, 1990; Roberts, 1998). Nos centraremos en el modelo de timing escalar, por ser uno de los más discutidos y conocidos dentro del campo de estudio del timing intervalar.

Este modelo tiene como antecedente conceptual la vieja idea (los años veinte del siglo pasado) de que medimos el tiempo con una especie de reloj interno (Wearden, 2003). Sin embargo, la primera formalización reconocida de este mecanismo se atribuye a Michel Treisman en 1963 (como aparece en Allan, 1998; Lejeune, 1998).

El segundo antecedente del modelo es la teoría de expectativa escalar descrita por John Gibbon en 1977. Esta teoría fue presentada durante la *Conference on Timing and Time Perception* y, un año después, en la publicación del número especial de *Annals of the New York Academies of Sciences* en 1984 (Allan, 1998; Block, 2003; Block & Grondin, 2014; Church, Guilhardi, Keen, MacInnis, & Kirkpatrick, 2003; García-Pérez, 2014; Meck & Church, 1984). La propuesta asume la existencia de un mecanismo de procesamiento de información temporal que, originalmente, fue usado para describir la ejecución de animales no humanos en programas de condicionamiento.

La teoría de expectativa escalar, apoyada en el mecanismo de reloj interno y aplicada al procesamiento de intervalos de tiempo, se conoce abreviadamente como el modelo SET²⁸ o teoría de timing escalar. Como autora implicada en el desarrollo de este modelo, Lorraine Allan (1998) sugiere que la conferencia de 1983, la conocida publicación de 1984, y el número especial de *Learning and Motivation* en 1991, tuvieron una influencia determinante en el

²⁸ Por sus siglas en inglés: *Scalar Expectancy Theory*. Se puede traducir como teoría de *expectancia* (sic) escalar, de esperanza escalar, de expectativa escalar o simplemente de timing escalar (Wearden, 2003). El término “*expectativa*” se refiere a la emisión de conducta, controlada por tiempo y en relación a la espera del reforzador (Gibbon, 1977; Lejeune, 1998).

enfoque de estudio del *timing* en general. Dichos acontecimientos contribuyeron a consolidar a SET como el modelo dominante –de ese momento y de las décadas siguientes– y marcaron una directriz para la investigación que se realizaba en humanos y otras especies (Allan, 1998; Wearden 2003).

Así, la propuesta general del modelo SET se puede dividir en dos aspectos (Lejeune, 1998; Wearden, 2003):

- Los supuestos que describen la función psicofísica con la forma de la propiedad escalar; misma que le da nombre al modelo (se describió en la sección anterior).
- Los supuestos sobre el mecanismo que subyace al procesamiento de información temporal, y que corresponde a la idea del reloj interno (se describe a continuación).

El modelo de *timing* escalar concibe al organismo como un sistema de procesamiento de información orientado a la solución de tareas con componentes temporales relevantes (Allan, 1998; Wearden, 2003), específicamente, intervalos. El modelo describe las propiedades del procesamiento cognitivo de un organismo que detecta un estímulo con cierta duración –input– y que opera sobre esa información para producir una respuesta temporal o controlada por tiempo –output–.

Dicho procesamiento emula las operaciones de un reloj, o de forma más precisa el de un cronómetro, ya que puede medir de cero y hasta una cantidad finita de tiempo. El cronómetro procesa eventos relativamente discretos –intervalos–, por lo que su actividad depende de señales de inicio y final, así como de una *distancia* relativamente corta entre ambos (Roberts, 1998). Además, se ha mostrado que este dispositivo podría realizar operaciones de pausa, continuación y reinicio (Allan, 1998; Allman et al, 2013; Buhusi & Meck, 2009; Orduña & Bouzas, 2011; Roberts, 1998), puede contar el tiempo hacia adelante –¿cuánto tiempo ha pasado desde el inicio del evento?– y hacia atrás –¿cuánto tiempo falta para que termine el evento?–, y ajustar sus mediciones en relación a algún tipo de retroalimentación (Roberts, 1998). Estas características hacen que el modelo de reloj parezca un mecanismo ideal para describir la ejecución en tareas de *timing* intervalar.

En relación a la estructura y operaciones básicas del modelo, se asume que el mecanismo procesa información temporal, específicamente, intervalos (Allan, 1998), y que funciona

transformando valores de tiempo objetivo –input– en valores ordenados de tiempo subjetivo –output–. El mecanismo contempla tres componentes interrelacionados desde la aferencia hasta la emisión de una respuesta: reloj, memoria y decisión (Figura 5). En conjunto estos tres niveles realizan la transformación de la información temporal, la almacenan y permiten emitir una respuesta controlada por tiempo (Church et al, 2003; Wearden, 2003).

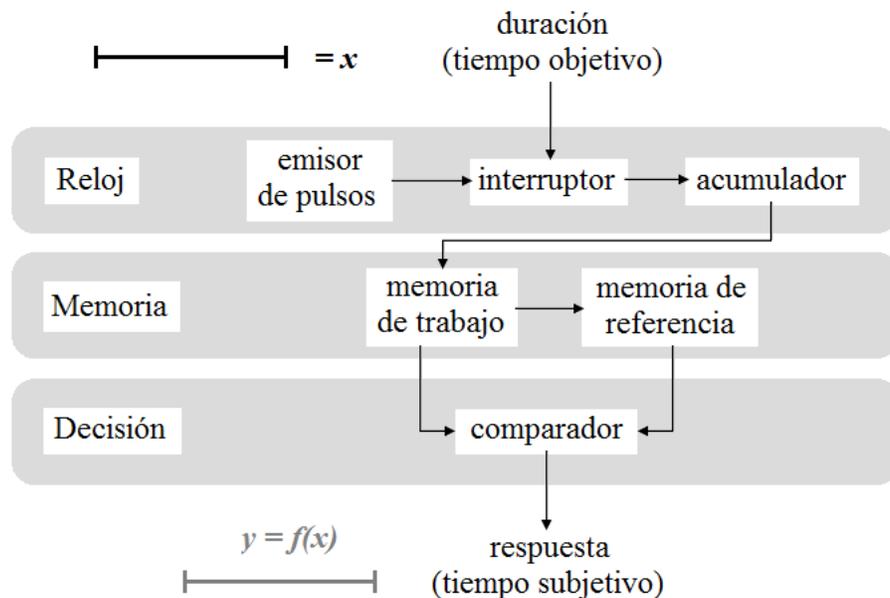


Figura 5. Muestra el mecanismo del reloj interno que caracteriza el procesamiento de información temporal (intervalos) en el modelo SET. Este mecanismo transforma unidades de tiempo objetivo x en unidades de tiempo subjetivo y , almacena la información y emite una respuesta controlada por tiempo.

En el primer nivel se realiza la transformación de tiempo objetivo a tiempo subjetivo, mediante tres subcomponentes:

- El emisor de pulsos: que emite pulsos de manera constante a una tasa promedio específica.
- El interruptor: que permite el paso de pulsos desde el emisor, es controlado por las señales de inicio y final del evento y está asociado al nivel de alerta y atención sobre el tiempo.
- El acumulador: que almacena e integra la cantidad de pulsos emitidos mientras el interruptor estaba activado, formando una representación subjetiva completa de la

duración objetiva del intervalo.

El segundo nivel del modelo almacena información y funciona a partir de dos subcomponentes: la memoria de trabajo y la memoria de referencia:

- El subcomponente de memoria de trabajo mantiene actualizada la representación de la duración subjetiva actual, que corresponde al total de pulsos almacenados en el acumulador. Este almacén es susceptible a ser borrado y reescrito pues tiene una capacidad limitada de almacenamiento.
- La memoria de referencia contiene muestras de representaciones de duración, formando distribuciones asociadas a intervalos relevantes. Este almacén tiene mayor capacidad de almacenamiento y sus contenidos no requieren ser borrados continuamente.

Finalmente, el tercer nivel del modelo corresponde al proceso de decisión necesario para la emisión de una respuesta. En éste se realiza una operación de comparación entre el contenido de memoria de trabajo y el de memoria de referencia. La comparación se realiza por medio de la razón entre la duración actual –en memoria de trabajo– y la duración aprendida o recordada –en memoria de referencia–. El resultado de la comparación determina la emisión de una respuesta adecuada, a partir de un criterio o umbral que se denomina regla de decisión (Allan, 1998; Allman et al, 2013; Block, 2003; Church et al, 2003; Lejeune, 1998; Meck & Church 1984; Roberts, 1998; Wearden, 2003).

Uno de los aspectos que explican el éxito de SET como modelo explicativo fue que modificó la manera de investigar timing. Se pasó de experimentos dedicados a acumular datos sobre las diferencias entre grupos experimentales, a la implementación de experimentos con tareas diseñadas específicamente para evaluar la operación de los componentes del modelo. Este cambio metodológico realzó a SET como una teoría cuantitativa de gran practicidad (Wearden, 2003).

El modelo ha logrado describir la evidencia empírica recabada bajo diversas manipulaciones y procedimientos experimentales. Sin embargo, la flexibilidad intrínseca del mecanismo que supone lo han hecho acreedor a críticas relacionadas con la dificultad para

falsearlo (Allan, 1998; Allman et al, 2013; Lejeune, 1998; Wearden, 2003)²⁹. Otros autores ya han señalado los principales retos explicativos que el modelo enfrenta (Allan, 1998; Allman et al, 2013; Block, 2003). Por ejemplo, John Wearden (2003) señala las tres principales dificultades que SET enfrenta: su problema para vincularse con otros modelos de procesamiento de información, la dificultad para identificar un mecanismo psicofisiológico compatible con la descripción computacional, y su dificultad para describir datos provenientes de los métodos clásicos de timing, como la tarea de reproducción.

Tomando en cuenta estas críticas, en este trabajo consideramos importante indagar sobre las condiciones experimentales que ponen a prueba al modelo –por ejemplo, usando el método de reproducción– e integren explícitamente otras funciones cognitivas –por ejemplo, atención y movimiento–.

SET, la propiedad escalar y el método de reproducción

En secciones anteriores presentamos la propiedad escalar y la teoría del timing escalar. Ésta sección contiene evidencia que permite analizar la relación de ambos elementos con el método de reproducción de duraciones. ¿Los registros obtenidos con tareas de reproducción muestran las características descritas por la propiedad escalar?

En un artículo dedicado a evaluar los modelos y la forma de función psicofísica obtenida con métodos de ajuste proporcional, Lorraine Allan registró la ejecución de participantes humanos en una tarea de reproducción con intervalos dentro del rango de 500 hasta 2250 ms (fase 1 del experimento en Allan,1978)³⁰. Aunque el artículo no habla explícitamente de la propiedad escalar los registros de reproducción muestran una relación lineal positiva con precisión de las medias (Figura 6a), de acuerdo al primer rasgo de la propiedad escalar. Sin embargo, el coeficiente de variación que se puede obtener de los datos disponibles en la

²⁹ A manera de ejemplo, Lorraine Allan menciona que “cada componente del modelo representa una fuente potencial de variabilidad independiente” (1998); mientras que Melissa Alman et al. (2013) discuten la cuestión de las fuentes de variabilidad en relación al tipo de tareas y los métodos de análisis implementados.

³⁰ Se reportaron los datos de cuatro participantes que cumplieron cuatro o cinco sesiones, que en conjunto presentaron 108 veces (o más) cada uno de los 8 intervalos por reproducir (500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2250 ms). En cada ensayo se encendía un foco para marcar el intervalo por reproducir –fase de presentación del estímulo–, al terminar, la luz se apagaba durante 750 ms y se volvía a encender hasta que el participante decidía que había igualado la duración de la primera luz y la apagaba presionando un botón –fase de registro de respuesta– (Allan, 1978).

publicación³¹ no parece constante entre los distintos valores de tiempo objetivo (Figura 6b), por lo que parece incumplir el segundo rasgo de la propiedad escalar.

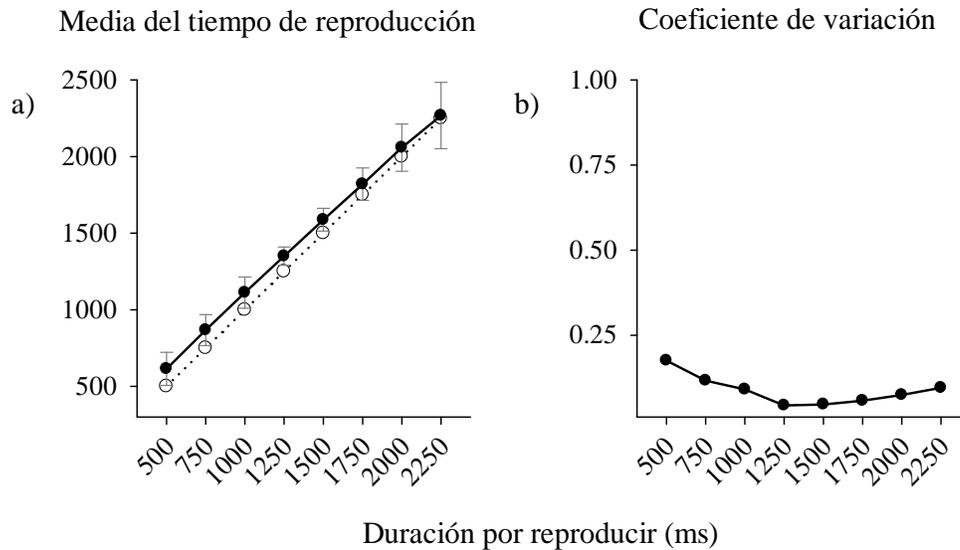


Figura 6. a) Muestra los valores promedio y desviación estándar del tiempo de reproducción (círculos negros, línea continua) en contraste con la que sería una reproducción exacta de la duración programada (círculos blancos, línea punteada). b) Muestra el valor de coeficiente de variación (imagen elaborada a partir de Allan, 1978).

Por otro lado, a partir de un análisis crítico sobre la aplicación de la teoría de timing escalar al timing intervalar humano, John Wearden presenta en un capítulo (2003) varios ejemplos de experimentos en los que evalúa timing con algunos de los métodos clásicos, incluido el método de reproducción de duraciones. Entre ellos están los datos de la replicación independiente de una tarea en la que los participantes debían reproducir la duración programada de un estímulo de muestra, cuya duración podía ir de los 550 a los 1050 ms (Figura 7).

En ambas tareas, los valores promedio de reproducción aumentan linealmente con la duración del estímulo por reproducir, pero sin cumplir la característica de precisión descrita en la propiedad escalar (Figura 7a). A diferencia de otros ejemplos mostrados en el capítulo, los coeficientes de variación de este par de tareas de reproducción fueron aproximadamente

³¹ Los datos presentados por Allan (1978) son únicamente promedios de reproducción de cada intervalo por reproducir y de cada participante. Así, los promedios y desviación estándar (Figura 6a), así como el coeficiente de variación (Figura 6b), se obtuvieron a partir de las diferencias entre puntajes de los cuatro participantes reportados. Por separado, cada uno de los participantes conserva el rasgo de precisión de las medias descrito por la propiedad escalar.

constantes en relación a los incrementos de la duración por reproducir (Figura 7b), de acuerdo con la propiedad escalar (Wearden, 2003).

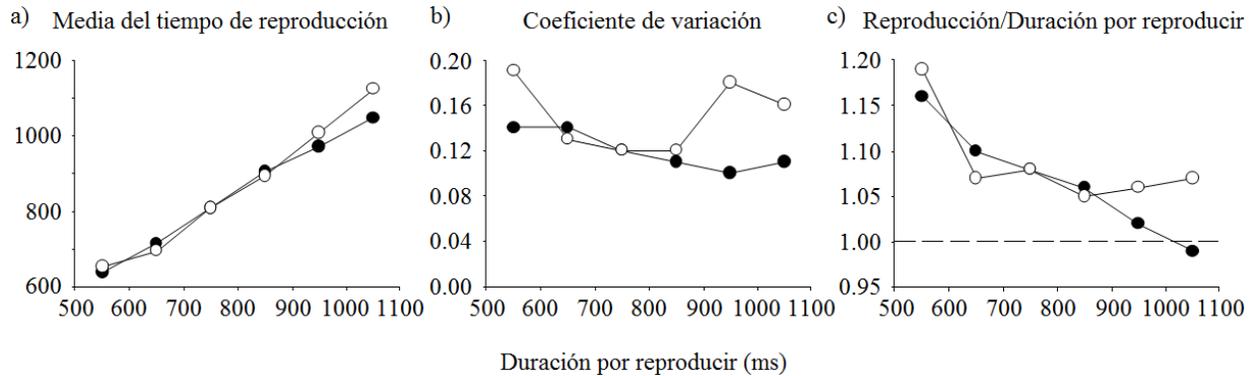


Figura 7. Muestra indicadores de ejecución de dos tareas de reproducción implementadas independientemente (círculos blancos y negros, respectivamente) en relación a la duración programada del estímulo por reproducir. a) Valor promedio del tiempo de reproducción. b) Coeficiente de variación. c) Indicador relativo de imprecisión; la línea horizontal punteada representa una reproducción exacta (imagen adaptada de Wearden, 2003).

Wearden agregó a la descripción de estos experimentos un indicador relativo de imprecisión³² que varía negativamente con el aumento en la duración programada del estímulo por reproducir (Figura 7). En una de las tareas, la función de imprecisión interseca el valor que representa una reproducción exacta –línea horizontal punteada– lo que se describe como una variante del efecto de Vierordt (Wearden, 2003).

El efecto de Vierordt se expresa dentro de un conjunto de datos de timing –generalmente obtenidos en tareas de reproducción, aunque no exclusivamente (Lejeune & Wearden, 2009)– cuando: dentro de un rango de duraciones por reproducir, las cortas se reproducen en promedio más largas de lo que realmente son, y las largas se reproducen más cortas de lo que son; lo primero se conoce como sobreestimación y lo segundo como subestimación. Derivado de ello, la función que caracteriza a este tipo de ejecución muestra un *punto de indiferencia* (Figura 8) que se ubica en algún sitio dentro del rango de duraciones por reproducir y que representa la duración

³² Calculado por la razón entre la media de reproducción y la duración del estímulo por reproducir. Cuando este indicador iguala a 1 representa precisión de las medias. Valores mayores a 1 indican que la media de reproducción fue mayor que la duración por reproducir, y lo contrario en el caso de los valores menores a 1.

en la que las reproducciones fueron, en promedio, precisas (Allan, 1979; Lejeune & Wearden, 2009³³).

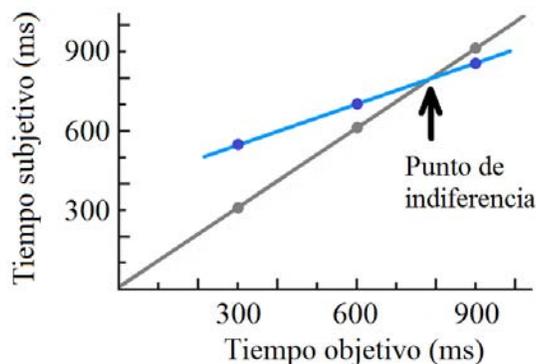


Figura 8. Efecto de Vierordt. La línea gris es una función de reproducción precisa en relación al tiempo objetivo. La línea azul ejemplifica una función de respuesta obtenida con el método de reproducción expresando el efecto de Vierordt.

Tanto el artículo de Allan (1978) como el reporte de Wearden (2003) coinciden en señalar una tendencia lineal creciente de los puntajes promedio de reproducción en relación a la duración programada de los estímulos por reproducir. Aunque los datos de Allan muestran precisión de las medias, ninguna de las tareas de Wearden presenta este rasgo. En cambio, mientras Wearden reporta valores del coeficiente de variación “relativamente constantes”, los valores que se obtienen a partir de los datos de Allan no presentan dicha constancia³⁴. Más aún, datos como los de Wearden y otros investigadores (Lejeune & Wearden, 2009) han señalado al efecto de Vierordt como un descriptor importante de timing en tareas de reproducción; siendo este efecto incompatible con la propiedad escalar. Ninguno de estos reportes cumple en su totalidad con las características descritas por la propiedad escalar (Allan, 1979; 1998; Allman et al, 2013; Block, 2003; Lejeune, 1998; Wearden, 2003), además de que sus respectivos indicadores de ejecución –tiempo de reproducción y coeficiente de variación– muestran patrones inconsistentes entre sí.

³³ El artículo de Helga Lejeune y John Wearden (2009) discute diversos ejemplos que muestran el efecto de Vierordt, así como los factores que modulan su expresión: las distintas tareas en las que se ha observado, la ubicación y estabilidad del punto de indiferencia, y la introducción de demoras al inicio de la fase de emisión de la respuesta.

³⁴ Es importante notar la diferencia de escalas en los ejes de las gráficas usadas para presentar los resultados de cada uno de los experimentos.

La pregunta es si un modelo tan importante como el de timing escalar puede valerse de la flexibilidad intrínseca de su estructura para dar cuenta de la evidencia producida por tareas de reproducción. Además, si dicho modelo permite integrar *otros* factores cognitivos –como atención y movimiento–, que son relevantes para la solución de tareas cotidianas como interceptar una pelota en movimiento, conducir un automóvil y cazar mosquitos para alimentarse en el caso de de una libélula hambrienta.

Atención

“Everyone knows what attention is. It is the taking possession by the mind, in clear and vivid form, of one out of what seem several simultaneously possible objects or trains of thought”

Principles of Psychology, William James

Como pasa con los conceptos de tiempo y espacio, el de atención tiene como antecedente una noción pre-teórica o de sentido común (James, 1890; Pashler, 1998; Watzl, 2011). Sin haber leído un tratado al respecto, sabemos lo que significa *poner* atención a un objeto entre varios otros, sabemos lo que es *mantener* la atención en una actividad el tiempo necesario para resolverla y conocemos la dificultad de *dividir* la atención entre dos o más tareas al mismo tiempo. Las distintas experiencias a las que hacemos alusión cuando hablamos de atención generan un constructo polisémico y un tanto difuso; incluyendo a las concepciones formales o teóricas (Bruya, 2010; Itti, Rees & Tsotsos, 2005; James, 1890; Kahneman, 1973/1997; Luria, 1975/1994; Lynn, 1967; Pashler, 1998; Posner & Rothbart, 2009; Smith & Kosslyn, 2008; Sternberg, 2011; Tsosos, Itti & Rees, 2005; Watzl, 2011). Aquí abordaremos la discusión a las principales operaciones realizadas durante el procesamiento de información; mismas que comúnmente referimos como *atención* –o algún subtipo de atención–.

El mundo en que vivimos se caracteriza por contener múltiples eventos y objetos simultáneos, que además, cambian con el tiempo. Una de las operaciones más reconocidas como atención es la de *selección*³⁵. Esta operación implica el procesamiento especial de solo una fracción de toda la información disponible (Frye, 2013; Lejeune, 1998; Luria, 1975/1994;

³⁵ En la literatura, esta operación se conoce comúnmente como atención selectiva.

Pashler, 1998; Sternberg, 2011; Wiederman & O'Carroll, 2013; Watzl, 2011). La información seleccionada se distingue de la no seleccionada por la velocidad, profundidad y eficiencia con la que se procesa: un estímulo atendido se detecta de forma más rápida y detallada que los estímulos no atendidos (Sternberg, 1999; como aparece en Pang & McAuley, 2003; Pashler, 1998; Sternberg, 2011). Por ello, se caracteriza a ésta como una operación de contraste (James, 1890; Watzl, 2011).

En algunos casos, la *selección* se debe aplicar simultáneamente a más de una unidad de información –ya sean objetos, estímulos, rasgos, actividades o tareas–, lo cual se conoce comúnmente como atención dividida (James, 1890; Pang & McAuley, 2003). ¿Puede una persona hacer realmente dos cosas al mismo tiempo? Si la respuesta es afirmativa ¿a cuántas cosas o ideas se puede atender simultáneamente? (James, 1890; Logan, 2001).

Una forma de estudiar la *selección simultánea* de elementos es usando el paradigma de tarea doble que consiste en pedir a los participantes que completen dos tareas al mismo tiempo³⁶. Al comparar la ejecución se observa un aumento en la cantidad de errores y un incremento en las latencias de respuesta cuando se resuelven dos tareas simultáneamente “A+B”, respecto de cuando sólo se resuelve una tarea “A” o “B”. Este efecto en el desempeño se entiende como la interferencia que genera la tarea agregada “B” a la realización o el procesamiento de la tarea “A” (Logan, 2002; Sternberg, 2011).

La dificultad que el sistema cognitivo enfrenta cuando debe procesar varias líneas de información simultáneas se ha explicado a partir de modelos de filtro (Kahneman, 1973/1997; Lejeune, 1998; Logan, 2002; Pashler, 1998; Smith & Kosslyn, 2008; Sternberg, 2011). En estos modelos (Figura 9a y 9b) se asume que el procesamiento de información sigue una secuencia de fases, y que en una o varias de ellas, el sistema sólo puede operar sobre un único input –o output– a la vez; por lo que en dicha fase la información disponible es filtrada antes de pasar a un procesamiento posterior (Kahneman, 1973/1997; Pashler, 1998). Dicha condición es una explicación al aumento en la cantidad de errores y el tiempo para iniciar las respuestas cuando se realizan tareas dobles.

³⁶ De manera general: la solución de una tarea única (A) consiste en producir una respuesta frente a un único estímulo, mientras que una tarea doble (A+B) implica la posibilidad de emitir dos respuestas frente a dos estímulos (Logan, 2002; Pashler, 1998; ver explicación de “actividad mental” en Kahneman, 1973/1997).

Otros modelos cambiaron el aspecto serial de los filtros por un procesamiento paralelo, pero de capacidad o recursos cognitivos limitados (Kahneman, 1973/1997; Lejeune, 1998; Logan, 2002³⁷; Smith & Kosslyn, 2007; Sternberg, 2011). El modelo (Figura 9c) considera que tenemos una capacidad limitada para realizar trabajo mental, y asume que distribuimos los recursos cognitivos que poseemos entre las tareas que debemos resolver y se nos presentan simultáneamente (Botella, 1997; Kahneman, 1973/1997)³⁸. Bajo esta lógica: la ejecución de cualquier tarea empeora –se hace más difícil para el que la realiza– cuando no se dispone de los recursos de procesamiento necesarios para realizarse, además, las tareas *fáciles* demandan menos recursos de procesamiento que las tareas *difíciles* (Kahneman, 1973/1997).

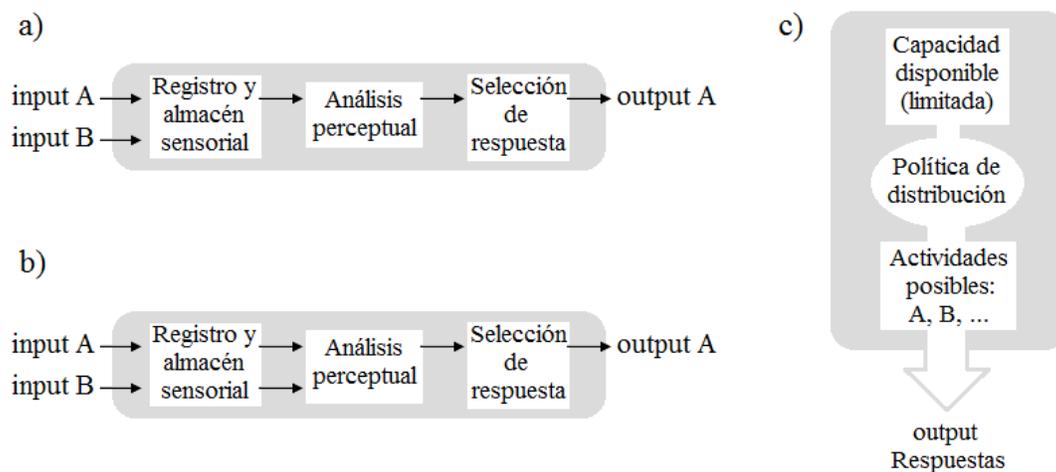


Figura 9. Muestra el procesamiento de información modulado por operaciones de atención en a) y b) un modelo de filtro, con el filtrado de información antes y después del análisis perceptual, respectivamente; c) un modelo de capacidad y distribución de recursos (imágenes adaptadas de Kahneman, 1973/1997).

En los modelos de filtro, el efecto de interferencia en una tarea doble se debe a que un mecanismo serial es requerido para procesar dos líneas de información simultáneas e independientes. En el modelo de capacidad, la interferencia se debe a la división de la capacidad

³⁷ Gordon D. Logan explica las diferencias entre los términos *capacidad* y *recursos*, y advierte sobre su uso indiscriminado (2002). Sin embargo, la literatura sobre el tema, incluso en el texto de Kahneman (1973/1997), ambos términos suelen usarse indistintamente.

³⁸ De acuerdo con el principio de complementariedad (Norman & Babrow, 1975; como aparece en Lejeune, 1998) una mayor asignación de recursos a una tarea conlleva a una menor asignación de recursos hacia otras tareas que deban procesarse simultáneamente. Desde este enfoque, atención se entiende como la capacidad limitada para el procesamiento de información (Brown, 2010; Kahneman, 1973/1997; Logan, 2002).

total entre varias tareas simultáneas, lo que implica que cada tarea recibe menos recursos que los necesarios para ejecutarse como tarea única (Brown, 2010; Kahneman, 1973/1997; Lejeune, 1998; Pang & McAuley, 2003; Pashler, 1998).

El grado de similitud o diferencia entre las tareas simultáneas A y B es otro factor que modula el efecto de interferencia. Cuando dos tareas son muy similares entre sí –como declamar un poema mientras se repite otro mentalmente (James, 1890)–, se encuentra mayor interferencia que cuando las tareas presentan demandas cognitivas distintas –por ejemplo, declamar un poema y realizar un movimiento con el brazo–. Se asume que, cuando las tareas son cognitivamente distintas³⁹, la competición por recursos es menor –o inexistente–, ya que cada tarea consume distintos *tipos* de recursos cognitivos (Navon & Gopher, 1979; como aparece en Logan, 2002). Así, desde un modelo de recursos limitados, la interferencia encontrada durante la ejecución de dos tareas simultáneas es una medida, en parte, del grado en que ambas tareas demanden los mismos recursos para resolverse (Botella, 1997; Brown, 2010; Sternberg, 2011).

Atención dirigida al tiempo

“Time flies when you’re having fun”

Aforismo

El estudio de la relación entre atención y tiempo tiene dos principales enfoques (Nobre & Coull, 2010; Helfrich, 2003): el análisis de la forma en que el paso del tiempo afecta las operaciones de la atención, y el análisis de la forma en que las operaciones de la atención modulan la percepción de tiempo, específicamente, la experiencia de duración (Phillips, 2012; Socala, Scheckner & David, 2010). Nos ocuparemos aquí del segundo caso.

El timing intervalar es sensible a diversos factores que modulan su cualidad y precisión. En relación a las operaciones de la atención, el primer factor a mencionar es la *dirección* de la operación de selección sobre la dimensión temporal: ¿el organismo está poniendo atención a duración del evento, o a cualquier otra cosa?

³⁹ Un par de tareas son similares o distintas entre sí cuando reclutan las mismas o distintas vías de procesamiento, respectivamente.

Desde el enfoque del control temporal de la conducta (López, 2012), el efecto de dirigir la atención al timing intervalar se define por la probabilidad de que la conducta sea controlada por la duración de un estímulo, en un determinado ensayo (Church & Gibbon, 1982; como aparece en Pang & McAuley, 2003; Broadway & Engle, 2011; Meck & Williams, 1997). En otras palabras: la posibilidad de que una duración x afecte la emisión de la conducta y depende, en principio, de que el organismo haya detectado –o atendido– dicha duración.

De hecho, existen diferencias en la precisión del timing intervalar en función de si la operación de selección se *dirigió* a la duración del evento, o si se *dirigió* a cualquier otro rasgo del mismo. En los estudios que comparan la ejecución en timing prospectivo y retrospectivo⁴⁰ se encuentra que en condiciones prospectivas los juicios son más largos y menos variables que en condiciones retrospectivas (Block, 2003; Brown, 1985; Brown, 2010; Phillips, 2012). La condición que más nos interesa aquí es la de timing prospectivo, en la que el organismo selecciona información relativa a la duración de los eventos porque sabe que el tiempo será importante para resolver la tarea.

El segundo factor a mencionar es la supuesta división de recursos cognitivos para resolver tareas ocurriendo simultáneamente, entre ellas las tareas de timing intervalar. En términos de la definición anterior, el efecto de la atención dividida sobre el timing intervalar consiste en una disminución de la probabilidad de que la dimensión temporal controle la emisión de conducta (Roberts 1981; como aparece en Pang & McAuley, 2005). En este caso, la demanda de atención⁴¹ depende de si simultáneamente se deben *seleccionar* dos, tres o más tareas; y de si estas tareas son similares –todas son de timing intervalar– o diferentes entre sí (Tabla 1). La estructura de eventos y las demandas presentadas por una tarea en particular dirigen la distribución de recursos cognitivos a partir de procesos de evaluación de estas últimas y las

⁴⁰ En timing prospectivo el organismo puede seleccionar información relativa a la duración de eventos (señal de inicio, final e intervalo), ya que, desde el inicio sabe que dicha información es importante para resolver la tarea. En estas tareas la atención está dirigida al tiempo mientras la duración relevante está ocurriendo. En timing retrospectivo el organismo conoce que la duración de eventos es importante para resolver la tarea hasta que los eventos han terminado. En esta tarea, el organismo no puede dirigir la atención a la duración de eventos; en cambio, se asume que la representación de duración se construye por otros medios. Así, es común identificar al timing prospectivo con una evaluación de funciones de atención y al timing retrospectivo con la evaluación de funciones de memoria (Azzollini, 2004; Block, 2003; Brown, 1985; Brown, 2010; Grondin, 2010, como aparece en García-Pérez, 2014; Lejeune, 1998; Phillips, 2012; Zakay & Block, 2004).

⁴¹ El concepto de *demanda de atención* resulta un tanto confuso, en tanto aparece en la literatura vinculado a distintos términos: esfuerzo, *load*, carga, demanda cognitiva, dificultad de la tarea y el aspecto intensivo de la atención (Lejeune, 1998; Logan, 2002).

políticas de asignación de recursos (operaciones no mostradas en la figura 9c; Kahneman, 1973/1997).

Tabla 1

Factores implicados en el efecto de la demanda de atención sobre timing intervalar

Demanda de Atención		Similitud entre tareas	
		Diferente tipo	Mismo tipo
Cantidad de tareas simultáneas	Dobles	T+A	T+T
	Múltiples	T+A _{fácil} ; T+A _{difícil}	T+T+T
		T+A ₁ ; T+A ₂ ; T+A ₃ ... ⁴²	T+T+T+T

Nota: Muestra dos factores involucrados en los efectos de la demanda de atención sobre la ejecución en timing intervalar. En columnas se muestra el factor de similitud entre tareas (de diferente o del mismo tipo) y en las filas se muestra el factor de cantidad de tareas simultáneas (dos o más) entre las que se deben dividir los recursos. “T” Tarea de timing intervalar. “A”, “B” o “C” Tareas simultáneas de cualquier tipo, excepto de timing intervalar –tareas no temporales–; los subíndices indican nivel relativo de dificultad.

En las *tareas dobles de diferente tipo* (celda superior izquierda, Tabla 1) se compara la ejecución de una tarea de timing intervalar (T) contra la ejecución al realizar, simultáneamente, una tarea no temporal (T+A) –por ejemplo, resolver mentalmente una operación aritmética y al final indicar el tiempo que él mismo tardó en emitir el resultado–.

En estos casos es común encontrar un efecto de interferencia bajo la condición T+A, ya que las duraciones reportadas son en promedio más cortas –subestimación– y más variables –menor precisión– que en la condición T (Allan, 1998; Allman et al, 2013; Brown, 2010; Brown & West, 1990; Buhusi & Meck, 2009; Lejeune, 1998; Phillips, 2012). Como punto de partida, esto parece indicar que las tareas de timing intervalar requieren de recursos cognitivos para su ejecución, lo que las distinguiría de tareas realizadas por procesos automáticos (Broadway & Engle, 2011; Brown & West 1990; Phillips, 2012)⁴³.

⁴² Más que la progresiva adición de tareas diferentes (T+A+B; T+A+B+C...), en las *tareas múltiples de diferente tipo* la principal manipulación consiste en presentar sólo una tarea simultánea A –no temporal–, manipulando su nivel de dificultad dicotómicamente (T+A_{fácil}; T+A_{difícil}) o progresivamente (T+A₁; T+A₂; T+A₃...).

⁴³ Esta afirmación se acota por la distinción entre timing perceptual y cognitivo, que se ubica aproximadamente antes y después de los 500 ms (John A. Michon, 1985; como aparece en Buonomano & Karmarkar, 2002). Desde los

Aunque se pueden agregar otras tareas simultáneas (celda inferior izquierda, Tabla 1), la manipulación más frecuente en *tareas múltiples de diferente tipo* consiste en variar el nivel de dificultad de la tarea no temporal. En términos generales, frente a una tarea simultánea muy fácil (T+A_{fácil}) la ejecución en timing presenta sobrestimación promedio y mayor precisión⁴⁴. Frente a una tarea simultánea muy difícil (T+A_{difícil}) la ejecución en timing presenta subestimación promedio y menor precisión –se acentúa el efecto de interferencia– (Witherspoon & Allan, 1985; como aparece en Allan, 1998; Block, 2003; Brown & West 1990; Phillips, 2012)⁴⁵.

Por otro lado, con el aumento progresivo en el nivel de dificultad de la tarea simultánea (T+A₁; T+A₂; T+A₃...) se encuentra un incremento progresivo en el efecto de interferencia sobre el timing intercalar (Brown, 1985; Brown, 2010; Zakay, Nitzan & Glicksohn, 1983; como aparece en Brown & West, 1990). Este conjunto de evidencias coincide en apuntar que la duración subjetiva (*t*) y la precisión de los juicios son inversamente proporcionales a la cantidad de recursos asignados para procesar información no temporal, así como al grado de dificultad de dichas tareas (Lejeune, 1998).

El método retrospectivo y las tareas dobles y múltiples de diferente tipo permiten evaluar el efecto en timing de dirigir la operación de selección a otros aspectos de la tarea, diferentes del tiempo. Desde los modelos de capacidad y el de reloj interno, los efectos encontrados se explican por una reducción de los recursos cognitivos disponibles para operar el mecanismo de reloj –por estar ya asignados al procesamiento de información no temporal–. Esto se conoce como la hipótesis de recursos compartidos o *time sharing* (Buhusi & Meck, 2009; Orduña & Bouzas, 2011). Dicha idea se ha integrado al modelo de reloj interno de distintas formas, aunque una de las más populares asume que la reducción de recursos afecta, de alguna manera, el paso de pulsos desde el emisor hasta el acumulador. Esta descripción se conoce genéricamente como el modelo de compuerta atencional (Allan, 1998; Allman et al, 2013; Block, 2003; Broadway &

modelos de capacidad y competición por recursos limitados, si la ejecución empeora con la adición de tareas simultáneas es porque éstas ocupan parte de los recursos que inicialmente estaban destinados sólo a timing.

⁴⁴ Aunque algunos autores defienden que esta condición debería generar un efecto similar al de timing como tarea única (T), otros señalan que incluso con demandas muy pequeñas, se produce una alteración en la ejecución (Brown, 2010).

⁴⁵ Una tarea *fácil* es la que presenta menor demanda cognitiva, como descansar, mantener los brazos en una posición relajada, mirar un estímulo simple, etc. Las tareas *difíciles* imponen mayor demanda cognitiva, por ejemplo, leer a través de un espejo o realizar operaciones aritméticas mentalmente (Brown & West, 1990).

Engle, 2011; Brown, 1985; Brown, 2010; Buhusi & Meck, 2009; Lejeune, 1998; Pang & McAuley, 2005; Phillips, 2012).

La división de recursos entre duraciones

¿Qué sucede cuando se debe realizar la operación de selección múltiple, pero no sobre tareas múltiples de diferente tipo, sino sobre dos o más intervalos ocurriendo simultáneamente? ¿Cómo respondemos a *tareas dobles del mismo tipo* (T+T), o al aumento progresivo de la dificultad bajo esa misma condición (T+T+T; T+T+T+T...)? (columna izquierda, Tabla 1).

El análisis de *tareas múltiples del mismo tipo* es menos frecuente que el de tareas de diferente tipo –y menos frecuente aún que el estudio de timing bajo procedimientos más autorizados como generalización o bisección temporal– (Allan, 1998; Buhusi & Meck, 1877; Church et al, 2003; Helfrich, 2003). Sin embargo, los humanos y otros animales comúnmente enfrentamos estructuras de información compuestas de eventos simultáneos y relativamente independientes entre sí, y cuyas duraciones son importantes para completar alguna tarea⁴⁶ (Church et al, 2003; van Rijn & Taatgen, 2008).

En la literatura, *timing simultáneo* aparece como la ejecución concurrente de dos o más tareas de timing (Pang & McAuley, 2003). También se puede entender como el procesamiento de dos o más líneas de información temporal –intervalos– ocurriendo simultáneamente o parcialmente simultáneas. Y desde otros enfoques se define como lo que ocurre en el caso de que dos señales temporales controlen la emisión de conducta al marcar, simultáneamente, la ocurrencia de un evento relevante, por ejemplo la disponibilidad del reforzador (Meck & Church, 1984)⁴⁷.

⁴⁶ El papamoscas gris es un tipo de ave que, igual que la libélula (Frye, 2013; Wiederman & O’Carroll, 2013), se alimenta de insectos voladores organizados en grupos (Davies, 1977; como aparece en Meck & Church, 1984). Esto requiere que ambos animales utilicen estrategias en las que, aparentemente, se debe evaluar al mismo tiempo el movimiento de varios objetos –posibles presas– con dinámicas relativamente independientes entre sí. Además de los ejemplos presentados al inicio de este trabajo, Hede Helfrich (2003) agrega el de un pianista que debe considerar al menos tres parámetros temporales durante su ejecución: la duración de los tonos, el cambio de ritmo y el control motor de sus manos y dedos. Este último ejemplo representa explícitamente el procesamiento simultáneo de intervalos que pueden ser tanto aferentes como eferentes.

⁴⁷ Aunque algunos autores lo refieren como *timing múltiple* (Brown & West, 1990), el adjetivo “simultáneo” integra tanto el rasgo de cantidad (dos o más intervalos) como el de la estructura en la que ocurren los eventos (arreglos paralelos o seriales).

En relación a las tareas dobles del mismo tipo (T+T; celda superior derecha, Tabla 1), Warren Meck y Russell Church (1984) plantearon un conjunto de experimentos para probar si las ratas podían realizar timing de dos estímulos simultáneos. En el primer experimento se utilizó un programa de intervalo fijo de 50 segundos –marcado por una luz general–, y se agregaron señales de segmentación –marcadas por un ruido blanco de 1 segundo– ocurriendo a intervalos regulares de 10 segundos dentro del intervalo general⁴⁸. El supuesto es que en el programa de intervalo fijo segmentado ambos intervalos informan al organismo sobre el momento de ocurrencia del reforzador: las breves señales sonoras indican que el reforzador estará disponible sólo hasta después de 10 segundos (en algunos casos) y la luz general indica que el reforzador estará disponible hasta que hayan pasado 50 segundos desde que se encendió.

Los registros conductuales (Figura 10) mostraron pequeños festones –aparentemente, productos del timing de los intervalos separados por la señal de segmentación (10 segundos)– formando parte de una curva con la forma típica de un festón –relacionado con el timing del intervalo general (50 segundos)–. A esto se le llamó: efecto de doble festón (Meck & Church, 1984); y es parte de la evidencia⁴⁹ que permitió a los autores concluir que las ratas pueden realizar timing sobre dos eventos simultáneos e independientes, y sin un efecto de interferencia (Meck & Church, 1984; Church et al, 2003).

⁴⁸ Estas señales se presentaron exactamente a los 0, 10, 20, 30 y 40 segundos de iniciado el intervalo fijo. La señal de segmentación a los 50 segundos no se presentó para evitar su contigüidad con el reforzador. Sin embargo ésta última relación se evalúan en los experimentos posteriores (Meck & Church, 1984).

⁴⁹ Una prueba interesante que se agrega al primer experimento (Meck & Church, 1984) consiste en omitir una de las señales de segmentación dentro del intervalo general para determinar si la disminución de la tasa de respuesta –rasgo característico de la parte inicial del festón–, que ocurre después de este tipo de señales, es una muestra de timing intervalar o una simple reacción frente al estímulo sonoro. Los resultados muestran que esta disminución en la tasa de respuestas se mantiene frente a la omisión de la señal de interrupción, lo que sostiene la hipótesis de que los festones pequeños implican timing de los intervalos segmentados (10 segundos).

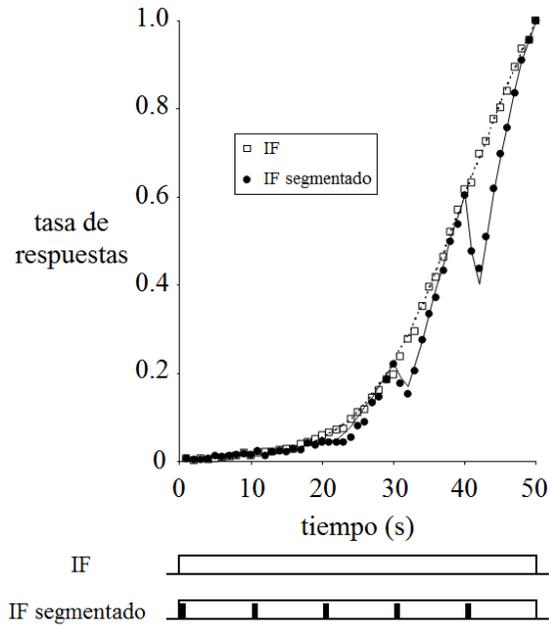


Figura 10. Muestra la relación entre la tasa relativa de respuestas (en relación al valor máximo) y el tiempo desde que se encendió la luz general y hasta el momento de disponibilidad del reforzador. La línea que une los cuadros blancos representa los cambios en la tasa de respuestas durante los ensayos de intervalo fijo (festón). La línea que une los círculos negros representa los cambios en la tasa de respuestas durante el intervalo fijo segmentado (doble festón). Imagen adaptada de Church et al. (2003) y basada en el primer experimento reportado por Meck y Church (1984).

En algunas otras publicaciones se han reportado los efectos de procedimientos similares (Meck, 1987; Meck & Williams, 1997; Menez, 2012; Olton, Wenk, Church & Meck, 1988; Pang & McAuley, 2003; van Rijn & Taatgen, 2008⁵⁰) u otros relativamente más simples como el condicionamiento demorado y de huella (Mika MacInnis –estudio no publicado–; como aparece en Church et al, 2003); interpretándolos como tareas que requieren que los organismos realicen timing simultáneo para resolverla⁵¹.

El último ejemplo presentado aquí es el procedimiento de pico con interrupción que

⁵⁰ Hedderik van Rijn y Niels A. Taatgen (2008) analizaron la ejecución de participantes humanos en la producción de dos intervalos parcialmente simultáneos, manipulando el intervalo entre inicios de dichos intervalos. Dentro de este grupo de referencias, éste es el único estudio que analiza timing simultáneo en humano y de tener por objetivo el inferir la forma (lineal o no lineal) de la distribución de pulsos emitidos desde el nivel de reloj. Además, es una muestra de la flexibilidad que puede tomar la estructura del reloj interno cuando se plantea desde las hipótesis de los múltiples relojes operando simultáneamente (van Rijn & Taatgen, 2008).

⁵¹ Aunque en la mayoría de los casos estas tareas no fueron diseñadas como tareas de timing simultáneo (Buhusi & Meck, 1877; Church et al, 2003).

consiste en la inclusión de uno o varios eventos que *interrumpen* impredeciblemente el marcador temporal en algunos de los ensayos (Buhusi & Meck, 2009; Orduña & Bouzas, 2011). Estos eventos pueden ser interrupciones del marcador temporal o estímulos distractores presentados durante el mismo (sección inferior de la figura 11). Lo que distingue a las señales de segmentación de las interrupciones y los distractores es que los últimos dos representan intervalos en sí mismos, y por lo tanto, son susceptibles a ser medidos simultáneamente con el intervalo general.

El principal resultado de este procedimiento se describe a partir de algunas de las operaciones atribuidas al reloj interno: continuación, pausa y reinicio. En general, cuando se presenta una interrupción de la señal temporal la función de respuesta presenta un desplazamiento hacia la derecha dentro de la gráfica. Cuando la magnitud del desplazamiento es igual a la magnitud del intervalo de interrupción se asume que ocurrió una pausa en el reloj: se almacena en memoria el segmento del intervalo que antecedió a la interrupción y la cronometría continúa desde punto al final de la interrupción (y reinicio del marcador temporal). Cuando la magnitud del desplazamiento es igual a la magnitud del intervalo de interrupción y la del segmento del intervalo que le antecedió se asume que ocurrió un reinicio en el reloj: la cronometría inicia de cero después de terminada la interrupción (Buhusi & Meck, 2009; Orduña & Bouzas, 2011). Cuando la función de respuesta no presenta desplazamiento se asume que el reloj continuó la cronometría, justo como haría en el caso de un procedimiento de pico estándar⁵².

⁵² La primera mitad de la función de respuesta en un procedimiento de pico tiene una forma similar al festón, alcanzando su punto máximo –tiempo pico–, aproximadamente, en el valor del intervalo fijo entrenado. La segunda mitad de la función presenta una disminución progresiva de la tasa de respuestas, que cae de manera casi simétrica en relación a la primera mitad de la curva (Buhusi & Meck, 2009; Orduña & Bouzas, 2011).

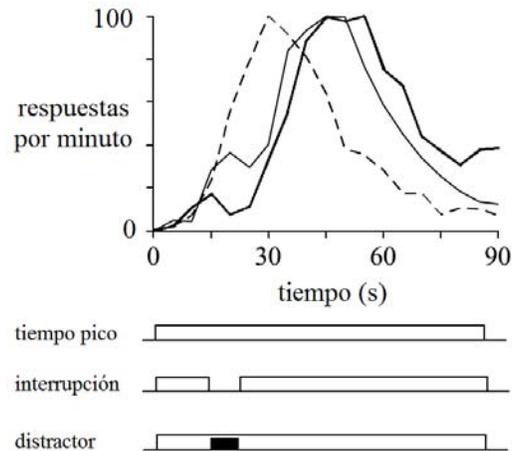


Figura 11. Muestra ejemplos de funciones de respuesta en ensayos de intervalo pico (línea punteada), en ensayos de intervalo pico con interrupción (línea continua delgada) y en ensayos de intervalo pico con distractor (línea continua gruesa). En la parte inferior se esquematiza el conjunto de eventos que corresponden a cada tipo de ensayo. Imagen adaptada de Buhusi y Meck (2009) y basada en los registros reportados por Buhusi & Meck (2006).

En relación a las tareas múltiples del mismo tipo (T+T+T; T+T+T+T; celda inferior derecha, Tabla 1), existen aún menos los artículos que hayan analizado el efecto en de aumentar progresivamente la dificultad de la tarea general a través de aumentar la cantidad de intervalos por evaluar simultáneamente. Para terminar esta sección presentamos el estudio que sirvió de punto de partida para el desarrollo de este trabajo.

En el primer experimento del artículo de Scott Brown y Allan West (1990) los autores analizaron la ejecución en timing con una tarea de reproducción vinculada a la presentación parcialmente simultánea de cuatro intervalos independientes⁵³. En esta tarea, la demanda de atención se manipuló con un aumento progresivo de tareas de timing a resolver simultáneamente, es decir, la cantidad de intervalos que el participante debía atender simultáneamente durante la fase de presentación de los estímulos.

Los autores reportaron un aumento en el indicador de error –imprecisión– y la variabilidad de reproducción con el aumento en el número de estímulos simultáneos (Brown & West, 1990; Figura 12). Este efecto es similar al que se encuentra en tareas simultáneas de

⁵³ En la fase de registro de la respuesta, solamente uno de los estímulos presentados simultáneamente debe ser reproducido por el participante.

diferente tipo, aunque el supuesto es que se encuentra en mayor grado en tareas simultáneas del mismo tipo. En este caso, entre más tareas de timing intervalar se presenten simultáneamente, menor es la precisión de reproducción y mayor la variabilidad.

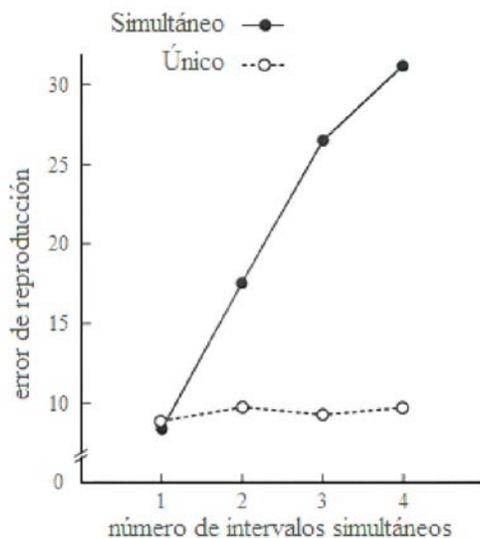


Figura 12. Muestra el error de reproducción en los ensayos experimentales de timing simultáneo (línea continua y círculos negros) y en los ensayos control en los que se debía atender a un único intervalo (línea punteada y círculos blancos). Así, se observa la diferencia de error entre ambos tipos de ensayo por cada grupo, en función del número de intervalos que atendió simultáneamente (ver detalles en Brown & West, 1990).

Espacio

“Las preguntas sobre la esencia de algo sólo pueden intentar descubrir el carácter del conjunto de experiencias sensoriales a las que se refieren los conceptos.”

Mi visión del mundo, Albert Einstein.

Como hemos dicho antes, *espacio*, junto a otros conceptos como *ser* y *tiempo*, están entre las nociones más difíciles de definir (Evans, 2004). Las variaciones del concepto entre disciplinas y culturas (Blanck-Cerejido & Cerejido, 2002a; Bonato, Zorzi & Umiltà, 2012), o entre las versiones teóricas y las de uso o sentido común (de la Peña, 2005), dan cuenta de un constructo amplio y diverso, que refleja los múltiples vínculos que el *espacio* tiene con diversas esferas de la vida humana y de otros organismos.

A pesar de las complicaciones y paradojas que incluyen las descripciones ontológicas de estas nociones –por ejemplo, en campos de estudio como la física y la filosofía (Gleik, 2013)⁵⁴ –, es común encontrar en ellas elementos relativos a la experiencia con estas nociones (Einstein, 1930/2013). Este conjunto de experiencias construyeron, en principio, la versión “pre-científica” de los conceptos. Aquí, nos centramos en la forma que toma la experiencia del espacio, en especial, por su utilidad para mejorar la manera en que reaccionamos a los elementos del mundo.

Dentro de las nociones teóricas de *espacio*, la que posiblemente se relaciona más con la versión de uso común es la de un contenedor de eventos, objetos y experiencias. En esta versión tanto tiempo como espacio son dimensiones constantes, absolutas, e independientes de los elementos que contienen (de la Peña, 2005). Los objetos y eventos contenidos por el espacio establecen relaciones con otros objetos y eventos, generando así una noción de *espacio* como una estructura de relaciones.

Con un mayor grado de elaboración, otras versiones de espacio lo han descrito como la integración de tres dimensiones extendidas linealmente. En esta descripción, la posición de un objeto se representa por coordenadas que integran un valor tomado de cada eje; esto es el espacio geométrico. Al agregar una cuarta dimensión –que refleja la integración del tiempo a la estructura del espacio geométrico; el llamado espacio tiempo (Blanck-Cereijido & Cereijido, 2002a; de la Peña, 2005; Gleik, 2013)– la descripción se vuelve mucho más abstracta, pero resulta muy útil para describir eventos como el movimiento.

Aunque la mayoría de las descripciones formales de *espacio* hacen referencia a objetos físicos, las que más nos interesan aquí son las que admiten sistemas cognitivos y sus respectivas funciones como parte de los objetos o eventos que contiene, y a su vez, como sistemas capaces de *percibir espacio* y *operar* sobre él.

⁵⁴ Por ejemplo, las entradas “Filosofía del espacio y el tiempo” y “Espacio (física)” en *Wikipedia*, “Space and time: inertial frames” en la *Stanford Encyclopedia of Philosophy* o “Time” en la *Internet Encyclopedia of Philosophy*.

El elemento espacial del timing intervalar

“Space and time are the framework within which the mind is
constrained to construct its experience of reality”

Immanuel Kant

Independiente de la discusión conceptual mencionada arriba, para los seres vivos el espacio es una dimensión fundamental que caracteriza a la estructura de información que les presenta el ambiente; y por ello, implícita o explícitamente, tiene un impacto en la expresión de diversas funciones relevantes para la sobrevivencia del organismo (Call, 2000). En ese sentido algunos autores (Roberts, 1998) señalan que no debería sorprendernos la relativa precisión con la que distintos organismos podemos evaluar tiempo y espacio –por ejemplo, duración y distancia–; aunque en la literatura no es claro si esta capacidad de operar en el espacio y el tiempo tiene un origen *innato* o si es *aprendida* (Blanck-Cerejido & Cerejido, 2002b; Díaz, 2011; de la Peña, 2005; Dehaene & Brannon, 2010; Merchant & de Lafuente, 2014).

Algunos autores señalan que el campo de estudio que articula el procesamiento temporal y el espacial está aún poco desarrollado y carece de marcos conceptuales coherentes (Bonato et al, 2012) que integren la evidencia recabada bajo los muy distintos tipos de tareas. La idea más consistente es que poseemos algún mecanismo común que nos permite procesar e integrar referentes temporales y espaciales⁵⁵. Nos limitaremos aquí a presentar dos propuestas que pretenden explicar cómo el sistema cognitivo podría estar operando de manera que permita la integración mental de las dimensiones temporal y espacial.

Una de las propuestas es que este mecanismo de procesamiento común toma la forma de una *línea mental de tiempo*. Esto sugiere que representamos diversos aspectos de la dimensión temporal a partir de una representación mental con un arreglo espacial particular: la línea. Bajo este mecanismo el procesamiento de información temporal adquiere características espaciales (Bonato et al, 2012):

⁵⁵ De hecho, una de las propuestas más generales es la que asume un sistema de procesamiento común para varios tipos de magnitudes, que incluyen al tiempo, el espacio y el número. Esta teoría se conoce abreviadamente como ATOM por sus siglas en inglés *A Theory Of Magnitude* (Bonato et al, 2012).

- Forma: el tiempo se representa en un continuo espacial, similar a una línea, que fluye de un extremo a otro. Esta forma permite incluir otro tipo de experiencias temporales, además de duración, tal como la de sucesión –antes y después–.
- Dirección: esta línea tiene una orientación espacial, que se ve reflejada en la orientación espacial del cuerpo y está mediada culturalmente. Una muestra de ello es la relación entre las nociones espaciales como “izquierda” y “derecha” con nociones temporales como “antes” y “después” o “corto” y “largo”.
- Relatividad: en esta línea mental, la representación de cantidad –en términos de tiempo– no es absoluta sino relativa. Así, ninguna cantidad está ubicada fijamente a la izquierda o a la derecha de la línea mental, sino que su ubicación depende de los puntos de referencia y rangos implicados.
- Atención espacial: este mecanismo asigna un papel relevante a las operaciones de la atención, aplicadas a información visoespacial, como vías de acceso para operar sobre la línea mental de tiempo.

La segunda propuesta, la *teoría del vínculo motor-temporal*⁵⁶, supone que las conductas motoras pueden ser usadas como mediciones accesibles y prácticas de la duración de intervalos de tiempo, ya que el movimiento es el fenómeno, por excelencia, que relaciona tiempo y espacio. Bajo este esquema, la emisión de conductas motoras o secuencias de conductas motoras sería una manera óptima para la ejecución de timing, especialmente en tareas de producción y reproducción. Además, la teoría del vínculo motor-temporal se presenta como una alternativa a los modelos de reloj interno, pues justifica su valor en términos de la parsimonia de su descripción y de la posibilidad de integrar líneas de investigación que suelen trabajarse de manera independiente: cognición temporal y espacial (Cassenti, 2011).

⁵⁶ *Motor-temporal link theory.*

Método

Propuesta Experimental

A partir de la tarea de timing simultáneo presentada por Scott Brown y Allan West, (1990) y de la aplicación previa de dos versiones de prueba, se diseñó y analizó una tarea de timing simultáneo con reproducción (TSr).

El objetivo específico del estudio fue analizar la ejecución en timing de participantes humanos, a partir del método de reproducción. En la tarea se manipuló el nivel de demanda de atención –impuesta por la cantidad de intervalos monitoreados simultáneamente durante la fase de presentación del estímulo–, y la integración de información espacial y temporal durante la fase de registro de la respuesta –impuesta al participante como una reproducción sostenida, con o sin movimiento–.

De las versiones previas de la tarea –incluida la tarea Brown y West (1990)– se recuperan factores de interés como la demanda de atención (DA) y la duración programada del estímulo que se debe reproducir (Duración)⁵⁷. A estos factores se agregan: la integración de información temporal y espacial durante la respuesta de reproducción –configurada por el componente espacial de la respuesta (CE)–, y el equipo con el que se realizó la tarea (Equipo).

En relación a los registros conductuales, además del tiempo de reproducción (del cual se deriva un índice de imprecisión; Brown & West, 1990), se registraron las latencias para iniciar la respuesta.

Así, las preguntas específicas que derivaron del diseño de la tarea de TSr, en la que la duración de intervalos es relevante para resolver la tarea, son: ¿cómo es la ejecución de los participantes al enfrentar varios intervalos de tiempo ocurriendo simultáneamente? Y ¿cómo la afecta la configuración espacial de la respuesta de reproducción?

⁵⁷ Se modificó la implementación de estos factores. Por ejemplo, los niveles del factor DA se compararon intrasujeto, en lugar de entre sujetos –como en el estudio original (Brown & West, 1990)–, y se modificó el rango de duraciones empleadas, haciéndolas más cortas para reducir el tiempo de la tarea y la posibilidad de usar una estrategia de conteo.

Participantes

En este experimento participaron 42 estudiantes (36 mujeres y 6 hombres, promedio de edad 19.4 años, D.E.=1.72), de segundo y cuarto semestre de la Facultad de Psicología de la UNAM, sin experiencia resolviendo la tarea de TSr o versiones preliminares de la misma. Los participantes incluidos en la muestra fueron evaluados y obtuvieron un nivel suficiente de agudeza visual monocular en ambos ojos, mostraron una discriminación cromática adecuada y no presentaron alteraciones motoras evidentes que les impidieran realizar la tarea⁵⁸ (Anexo A. Evaluación inicial). Se informó a todos los participantes que obtendrían medio crédito en una materia por su asistencia al experimento y un crédito completo por seguir adecuadamente las instrucciones de la tarea.

Materiales

Se utilizaron computadoras de escritorio Dell Vostro 360 con procesador Intel Core i3 y monitor de 23'' con 1920·1080 pixeles de resolución y función sensible al tacto; así como una tableta con lápiz para digitalizar de Bamboo Connect Pen. La aplicación se realizó en cubículos aislados y amueblados con un escritorio, silla y el equipo de cómputo necesario para realizar la tarea.

La adaptación para computadora de las pruebas de agudeza visual y discriminación cromática se programó en el software SuperLab 4.5. La programación de eventos para la prueba de laberinto, la práctica con los sensores y la tarea de TSr se realizó en Java, utilizando Java Development Kit 1.7 y NetBeans 7.0.1 como interfaz de desarrollo. Todas las aplicaciones se presentaron en pantalla completa.

Procedimiento

Para la evaluación inicial se aplicó una prueba de agudeza visual con los optotipos de Snellen, la prueba de discriminación cromática de Ishihara y una tarea de control motor con laberintos (Anexo A. Evaluación inicial). Posteriormente, se presentó al participante una aplicación de

⁵⁸ Tres participantes de la muestra original fueron excluidos de esta descripción y del resto del análisis debido a que no obtuvieron un puntaje de agudeza visual monocular suficiente (puntaje \leq 0.2 de AV; Anexo A. Evaluación inicial).

práctica para familiarizarlo con el funcionamiento del sensor que usaría durante el resto de la sesión experimental⁵⁹. En la siguiente parte de la sesión se aplicó la tarea de timing simultáneo con reproducción (TSr), para lo cual se dejó solo al participante.

Todos los ensayos de la tarea tuvieron una estructura general idéntica. Cada ensayo inició con la presentación de un arreglo que podía contener uno, dos, tres, o cuatro estímulos. Un estímulo es un círculo con un color y duración específica, presentado en la pantalla con un tamaño de 196·196 píxeles (Figura 13a). Cuando en un ensayo, el arreglo contenía más de un estímulo, el segundo, tercero, y cuarto estímulo iniciaron después de pasar un breve intervalo⁶⁰ desde el inicio del estímulo anterior. Esto generó un arreglo de estímulos con inicios asincrónicos, pero con duraciones parcialmente simultáneas (Figura 13b).

Al iniciar el ensayo, el participante debía poner atención a la duración de todos los estímulos que contuviera el arreglo, mientras fijaba su vista en una cruz al centro del recuadro que a su vez que contenía los estímulos (Figura 14a).

Al terminar el arreglo, el programa indicaba al participante el estímulo por reproducir; mostrándolo en la misma posición en que apareció durante el arreglo (Figura 15a). Una vez identificado el estímulo por reproducir, el participante debía presionar el botón “siguiente” (en el área inferior derecha de la pantalla) para continuar.

Se registró como “latencia de muestra” (I_m) el intervalo de tiempo entre la muestra del estímulo por reproducir y la presión del botón para continuar (Figura 15a).

A continuación, se presentó en la pantalla un sensor (Figura 15b). El participante debía presionar el sensor para iniciar la respuesta de reproducción (Figura 16a). En el caso de la reproducción en movimiento, el participante debía seguir el desplazamiento del sensor, en línea recta hacia la derecha (Figura 16b), durante el tiempo que considerara necesario para igualar la duración que tuvo el estímulo por reproducir dentro del arreglo.

⁵⁹ Se incluyeron cuatro ensayos: dos con un sensor fijo y dos con un sensor con desplazamiento. Esta práctica se realizó en presencia del aplicador y tuvo por objetivo evaluar la capacidad del participante para identificar los eventos relevantes de la tarea y para realizar las acciones necesarias para emitir las respuestas: presionar, sostener, seguir el movimiento de un sensor, y soltarlo.

⁶⁰ Los valores del intervalo entre inicios (IEI) fueron seleccionados aleatoriamente dentro el rango de 100 a 250 ms.

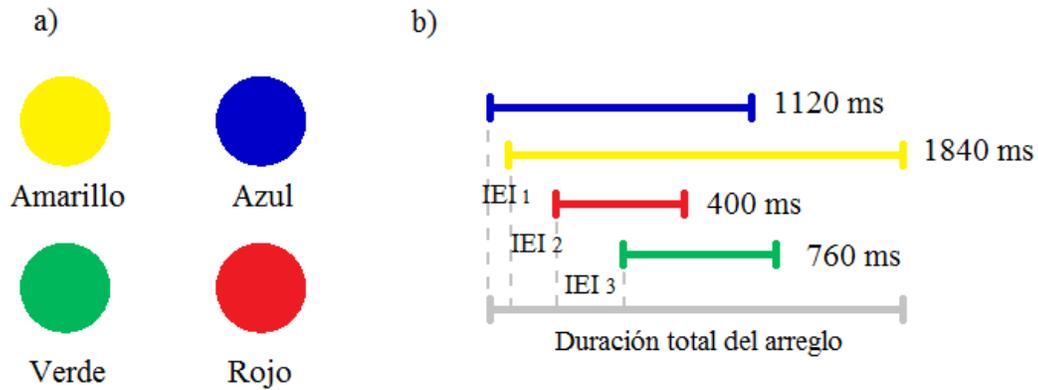


Figura 13. a) Muestra la forma y color de los cuatro estímulos que se podían presentar en un arreglo para representar intervalos de tiempo. b) Muestra un ejemplo de la estructura temporal de un arreglo con cuatro estímulos, incluyendo los tres intervalos entre inicio (IEI) correspondientes.

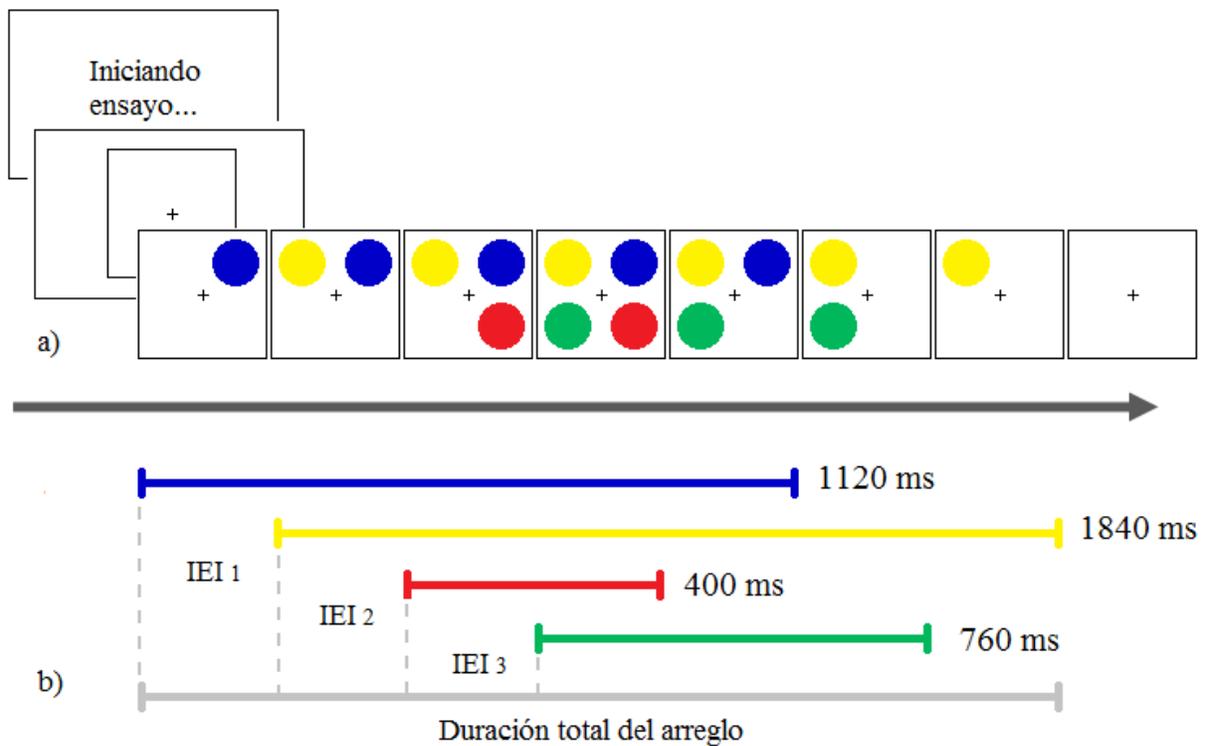


Figura 14. a) Muestra de izquierda a derecha la secuencia de pantallas que marcan la aparición y desaparición de estímulos durante el arreglo. b) Representa la estructura temporal del arreglo presentado en la secuencia de pantallas de la imagen superior.

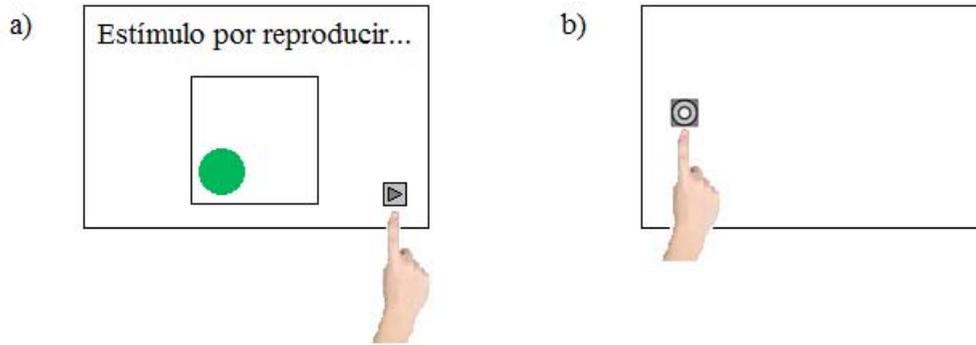


Figura 15. a) Pantalla que muestra el estímulo por reproducir y el botón “siguiente” a punto de ser presionado. b) Pantalla que presenta el sensor de reproducción (de la condición en movimiento) a punto de ser activado.

Para la reproducción en un punto fijo, el participante debía presionar el sensor y sostener esa presión en el mismo punto, ya que el sensor permanecía estático⁶¹. En ambos casos, participante debía soltar el sensor (Figura 16c) cuando decidía que debía finalizar la reproducción. Con ello daba por terminado el ensayo.

Se registró como la “latencia de reproducción” (t_{rep}) el intervalo de tiempo entre la aparición del sensor (Figura 15b) y el inicio de la reproducción (Figura 16a). El intervalo de tiempo entre el inicio de la reproducción (Figura 16a) y el final de la reproducción (Figura 16c) se registró como la “respuesta de reproducción” (t).

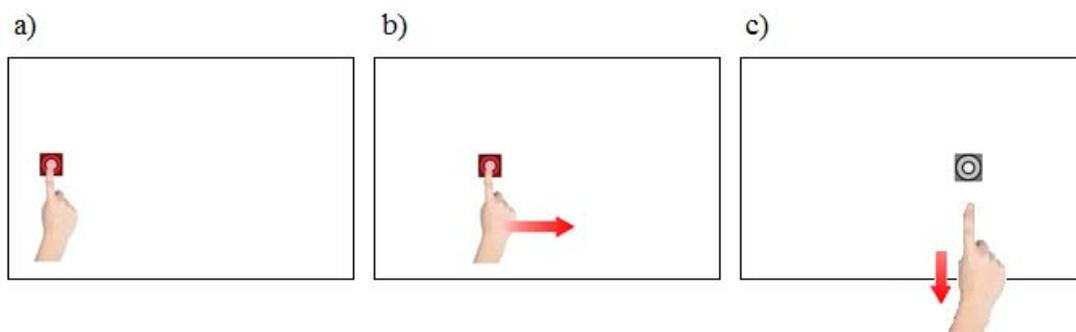


Figura 16. Muestra la respuesta de reproducción, a) desde el momento en que el participante presiona el sensor, b) mientras sigue su movimiento por la pantalla (en línea recta y hacia la derecha; en el caso de la reproducción con movimiento), c) y hasta el momento en que termina la reproducción, soltando el sensor, y terminando el ensayo. Las flechas rojas ilustran la dirección básica del movimiento de la mano.

⁶¹ Esta condición no aparece ilustrada en el texto, aunque emula una típica reproducción sobre un botón, por ejemplo, en un teclado.

Así, en cada ensayo se registraron tres intervalos (I_m , I_{rep} y t) en unidades de milisegundos. Los primeros dos son latencias para iniciar la respuesta y el último es el tiempo de reproducción reportado por el participante.

Con t se obtuvo un indicador de imprecisión siguiendo la fórmula de “desviación proporcional absoluta” (DPA; ver fórmula 1), que corresponde a la diferencia entre la respuesta de reproducción (t) y el valor programado de Duración (T), en relación al valor programado de Duración (T); todo en términos absolutos.

$$DPA = \left| \frac{t - T}{T} \right| \quad (1)$$

Este indicador relativo determina la imprecisión de la respuesta de reproducción para cada una de las duraciones usadas en la tarea y representa dicha diferencia en términos absolutos por lo que no distingue si la respuesta fue una subestimación o una sobreestimación del intervalo T .

Para ser más precisos, cuando el valor de DPA es pequeño, y se acerca o iguala a cero, significa que la reproducción fue muy cercana o igual al valor programado de T . Cuando el valor de DPA aumenta y se aleja de cero, significa que hay un incremento del error de reproducción; con la posibilidad de duplicar la duración T (DPA=1), triplicarla (DPA=2), y así sucesivamente⁶². Se obtuvo también el valor no absoluto de DPA (“desviación proporcional” o DP) para distinguir las respuestas de reproducción que presentaron subestimación (valores negativos de DP) y las que presentaron sobreestimación (valores positivos de DP).

Regresando a la descripción de la tarea de TSr, la estructura general de los ensayos que hemos descrito antes se modificó, ensayo tras ensayo, para integrar los factores intrasujeto de interés. Así, cada ensayo representó una combinación particular de los niveles de cada variable, por ejemplo:

- Las duraciones del estímulo por reproducir en cada ensayo se tomaron de los seis niveles de la variable Duración.

⁶² Esto sólo puede ocurrir en el caso de las sobrestimaciones.

- El número de estímulos que contenía un arreglo podía ser 1, 2, 3 o 4, dependiendo del nivel de la variable DA.
- El sensor de reproducción se presentó en el centro de la pantalla para realizar la reproducción en un punto fijo, o bien, en el extremo izquierdo de la pantalla (Figura 15b) para realizar la reproducción en movimiento. Esto distingue los dos niveles de la variable CE.

La variable Equipo fue el único factor diseñado para comparaciones entre sujeto, por lo que se asignó aleatoriamente a los participantes a uno de los dos grupos que representan los niveles de este factor (esto implicó resolver la tarea en una pantalla o en una tableta). Los factores Duración, DA, y CE se implementaron para comparaciones intrasujeto, permitiendo que cada participante resolviera todas las combinaciones de los distintos niveles de cada variable (Tabla 2).

Tabla 2
Diseño experimental

	CE: Reproducción en punto fijo				CE: Reproducción en movimiento			
	DA:1	DA:2	DA:3	DA:4	DA:1	DA:2	DA:3	DA:4
Pantalla	D: 1-6	D: 1-6	D: 1-6	D: 1-6	D: 1-6	D: 1-6	D: 1-6	D: 1-6
Tableta	D: 1-6	D: 1-6	D: 1-6	D: 1-6	D: 1-6	D: 1-6	D: 1-6	D: 1-6

Nota: Muestra las comparaciones del estudio organizadas bajo un diseño factorial mixto. En columnas se organizan las comparaciones intrasujeto (del nivel superior al inferior): CE (2 niveles; fijo y en movimiento), DA (4 niveles; DA1-DA4) y Duración (6 niveles; D1-D6). En filas se organiza la comparación entre sujetos Equipo (2 niveles; pantalla y tableta)⁶³.

Por otro lado el diseño de los arreglos debía considerar –además de la duración– otras características de los estímulos tales como el color, la posición de aparición en la pantalla, el orden y frecuencia de presentación, y la posición en que aparecieron en la pantalla. Así, se cumplió que:

- Ninguna duración –ni estímulo– se presentó dos veces dentro del mismo arreglo.

⁶³ Pantalla (n=24) y tableta (n=17). Esta asignación dependió de la disponibilidad del equipo para llevar a cabo la tarea. Se contó con el doble de equipos para resolver la tarea en la pantalla táctil que en tableta para digitalizar.

- Cada duración se presentó el mismo número de veces durante la sesión.
- Cada duración se presentó el mismo número de veces como estímulo por reproducir.

En relación a la combinación de colores:

- Cada color se presentó con la misma frecuencia durante la sesión.
- Cada color se presentó con la misma frecuencia como estímulo por reproducir.

El orden de aparición de los estímulos se asignó de manera que:

- El estímulo por reproducir se presentó la misma cantidad de veces en cada posición de la estructura temporal del arreglo (primer, segundo, tercero o cuarto estímulo; Figura 13b)⁶⁴.
- La posición de aparición en la pantalla (Figura 14a) se asignó aleatoriamente.

Estas consideraciones se tomaron para evitar la asociación entre la duración y otras características de los estímulos, así como la asociación entre dichas características y el estímulo por reproducir. La idea fue evitar que elementos como el color y orden de aparición sirvieran para anticipar al estímulo por reproducir o su duración.

Finalmente expondremos la estructura general de la tarea TSr. La tarea se compone de tres fases: ensayos de práctica, ensayos de prueba y ensayos de repetición (Anexo B. Fases de la tarea de TSr). Los ensayos de práctica tienen el objetivo de mostrar al participante la estructura de los ensayos, las principales variaciones que incluye (DA y CE), y retroalimentación sobre la precisión con la que se realiza cada reproducción. Los ensayos de prueba representan la evaluación principal de la tarea, y en conjunto, consisten en la combinación de los factores intrasujeto del estudio (Tabla 2). Durante esta fase se insertaron algunos ensayos con retroalimentación para sugerir al participante que se evaluó la precisión de reproducción durante toda la tarea. La última fase de la tarea presenta al participante los ensayos de repetición. El “Anexo B. Fases de la tarea de TSr” contiene una descripción detallada de las distintas fases de la tarea (resumidas en la tabla 3) y los criterios que se utilizaron para conformar la base de datos que se analizó en la sección de Resultados.

⁶⁴ Esto depende también del nivel de DA de ese ensayo.

Tabla 3

Resumen de las fases de la tarea TSr

Fase	Número de ensayos	Duraciones ocupadas	Retro-alimentación	Criterio aplicable
Ensayos de Práctica	20	580, 940, 1300, 1660 y 2020	sí	Para avanzar a la siguiente fase: depende de la precisión de reproducción en los ensayos ya resueltos.
Ensayos de Prueba	48*	400, 760, 1120, 1480, 1840 y 2200	no	Para repetir un ensayo en la siguiente fase: sólo los ensayos cuyas reproducciones clasifiquen como error de ajuste con el sensor.
Ensayos de Repetición	Depende de la fase anterior	400, 760, 1120, 1480, 1840 y 2200	no	Ninguno

Nota: Muestra las características principales de las fases de la tarea TSr. * En esta fase se agregaron aleatoriamente 9 ensayos con retroalimentación que no se consideraron en el análisis de datos.

Preguntas e hipótesis

En una tarea en la que es importante la correspondencia entre la duración de los estímulos y la duración de las respuestas, como en el caso del método de reproducción, nos interesa analizar: los cambios en la ejecución –en timing (t y DPA) y en las latencias para iniciar la respuesta (I_m , I_{rep})– dados los principales factores manipulados en la tarea; suponiendo un efecto de DA en la fase inicial del procesamiento y del CE en la fase final, así como en la combinación de los distintos niveles de esos factores⁶⁵. Las preguntas específicas relativas a los efectos principales son:

⁶⁵ Además del factor Equipo, analizado entre sujetos.

1. ¿Cómo las distintas duraciones que puede tomar el estímulo por reproducir (Duración, T) puede afectar la ejecución (principalmente en t)?
2. ¿Cómo la cantidad de intervalos monitoreados simultáneamente (DA) puede afectar la ejecución (DPA y latencias)?
3. ¿Cómo la configuración espacial requerida para emitir la respuesta de reproducción (CE) puede afectar la ejecución (t y DPA)?
4. ¿Existen diferencias en la ejecución (t , DPA, y latencias) entre el grupo de participantes que resolvieron la tarea en una pantalla táctil y el grupo que la resolvió en una tableta para digitalizar (Equipo)?

A continuación se esbozan las hipótesis relativas a los efectos principales de las manipulaciones implicadas en la tarea.

Duración

Los niveles de la variable Duración corresponden a los intervalos de tiempo asignados a los estímulos dentro del arreglo, y más importante, a la duración del estímulo por reproducir (T). Estos valores guardan una relación lineal creciente con diferencias constantes entre ellos. Se espera:

1. Encontrar diferencias en el tiempo de reproducción (t) dados los distintos niveles de Duración (T).
 - 1.1. Que estas diferencias tomen la forma descrita de la propiedad escalar (Allan, 1979; 1998; Allman et al, 2013; Wearden, 2003): una relación lineal creciente entre T y t , con precisión de las medias (Allan, 1978); y constancia en el coeficiente de variación (Rattat & Droit-Volet; 2012).

Demanda de atención

Los niveles de la variable DA consideran un incremento, de uno en uno, en el número de estímulos por atender simultáneamente: desde uno y hasta cuatro intervalos. Siguiendo la idea de que cada estímulo adicional implica un aumento progresivo en la demanda de atención –al

requerir de la división de recursos cognitivos para su procesamiento (Kahneman, 1973/1997; Lejeune, 1998; Logan, 2002; Smith & Kosslyn, 2007; Sternberg, 2011)–, entre mayor sea el número de eventos simultáneos por atender se espera:

2. Encontrar diferencias en el error de reproducción (DPA) y las latencias para iniciar la respuesta (I_m y I_{rep}) dado el número de estímulos evaluados simultáneamente.
 - 2.1. Que la imprecisión (DPA) aumente con los niveles de DA –efecto de interferencia– (Brown, 2010; Brown & West, 1990; Lejeune, 1998; Pang & McAuley, 2003; Pashler, 1998)
 - 2.2. Que las latencias para iniciar la respuesta (I_m y I_{rep}) aumenten con los niveles de DA –efecto de interferencia– (Kahneman, 1973/1997; Pashler, 1998).

Componente espacial de la respuesta

Los niveles de la variable CE representan las dos diferentes configuraciones espaciales en las que es posible emitir la respuesta de reproducción: en un punto fijo y en movimiento. La reproducción en un punto fijo emula la forma estándar de reproducción sostenida (Wearden, 2003): presionar un botón para iniciar la reproducción, sostenerlo durante la misma y soltar el botón para terminarla; por lo que nos sirve aquí como condición control respecto al CE en movimiento. Ésta última condición se diseñó para probar el efecto de la integración de información temporal y espacial: durante el sostenimiento de la respuesta de reproducción el participante sigue el desplazamiento del sensor en una línea recta que corre de izquierda a derecha sobre la pantalla. A partir de las manipulaciones agrupadas en este factor se espera:

3. Encontrar diferencias en el tiempo de reproducción (t) y el indicador de imprecisión (DPA) dados los niveles del CE (Bonato et al, 2012; Cassenti, 2011).
 - 3.1. Que el tiempo de reproducción y la precisión (t y DPA) en la condición CE fijo se parezcan a los reportados en estudios previos, incluyendo la propiedad escalar (Allan, 1978; Wearden, 2003; Lejeune & Wearden, 2009).
 - 3.2. Asumiendo que la velocidad constante y la forma del desplazamiento del sensor permitiría mejorar la reproducción de intervalos, se espera menor imprecisión

(DPA) en la condición CE en movimiento que en la fija (Bonato et al, 2012; Cassenti, 2011).

Equipo

Finalmente, la variable Equipo fue incluida en el experimento para evaluar ejecución de los participantes dado el aparato de registro ocupado. Este factor se compone de dos niveles que distinguen los aparatos usados por el participante para resolver la tarea: una pantalla táctil o una tableta con lápiz para digitalizar.

4. No se anticiparon diferencias en los indicadores de ejecución en función del equipo utilizado.

Los efectos esperados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 4

Diferencias esperadas en los factores incluidos en el experimento⁶⁶

	Duración (T)	DA	CE	Equipo
t	Propiedad escalar	--	*	--
DPA	--	Interferencia	*	--
Latencias (I_m y I_{rep})	--	Interferencia	--	--

Nota: Muestra los resultados esperados a partir del cruce de variables independientes (columnas) y dependientes (filas). El sombreado de columnas guarda relación con los tonos ocupados en la figura 17 para presentar los resultados. * Se espera algún efecto aunque no se especifica su dirección o características. -- No se espera encontrar algún efecto.

⁶⁶ Esta distribución de filas y columnas se utilizó para presentar los resultados en la siguiente sección (Figura 17; Tabla5).

Resultados

Análisis de datos

Después del procesamiento de ensayos descrito en el “Anexo B. Fases de la tarea de TSr” se conformó una base de datos con los 48 ensayos por participante de cada indicador de ejecución. Este número de ensayos representa la combinación de niveles de cada factor intrasujeto. Cada indicador de la ejecución (t , DPA, I_m y I_{rep}) se procesó con un ANOVA de medidas repetidas considerando un diseño factorial mixto, en el que Duración, DA, y CE se asignaron a comparaciones intrasujeto y Equipo a comparación entre sujetos.

La medición de diferentes variables o de varios niveles de la misma variable sobre un mismo participante requiere un análisis de datos de medidas repetidas que asume supuestos particulares. El análisis requirió la aplicación de una prueba de esfericidad de Mauchly para cada indicador de ejecución. En los casos en que se incumple el supuesto de esfericidad⁶⁷ se reporta el estadístico multivariado⁶⁸.

A continuación se expone la evidencia encontrada en relación a las preguntas e hipótesis planteadas en la parte final de la sección anterior. Los resultados se analizan en el siguiente orden:

1. Efectos esperados (incluyen los efectos principales y el análisis de las diferencias específicas entre niveles)
2. Efectos no esperados (obtuvieron significancia estadística aunque dicho efecto no se anticipó en las hipótesis)
3. Las interacciones significativas entre factores

⁶⁷ Para cumplir el supuesto de esfericidad $p > .05$ en la prueba de Mauchly.

⁶⁸ En este caso se debe reportar el estadístico multivariado en lugar del valor del análisis univariado, producido automáticamente por el análisis de varianza de medidas repetidas.

Efectos esperados

La figura 17 presenta los valores promedio de los indicadores de ejecución, dados los distintos niveles de los factores manipulados en la tarea. La distribución espacial de estas gráficas guarda relación con las filas y columnas de la tabla 4 –que resume las diferencias esperadas– y con la tabla 5 –que resume la significancia estadística de los efectos principales producto de los ANOVA de medidas repetidas–. A continuación se describe la evidencia encontrada en términos de los efectos esperados y siguiendo el orden de los factores Duración, DA, CE y Equipo.

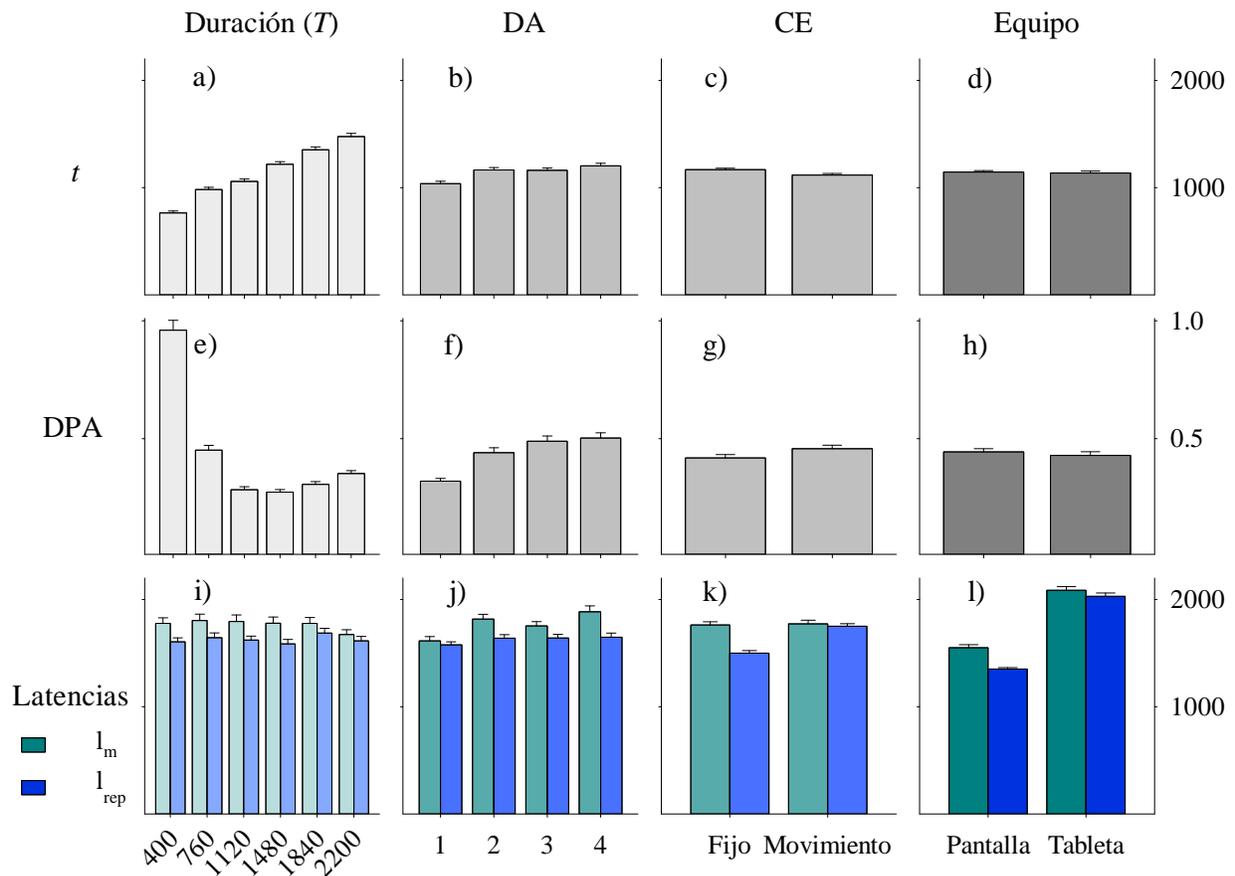


Figura 17. Media y error estándar de los indicadores de ejecución t , DPA, y latencias l_m y l_{rep} –en filas, de arriba a abajo–, en función de los factores Duración (T), DA, CE y Equipo –en columnas, de izquierda a derecha–. Equipo: pantalla táctil ($n=24$) o tableta y lápiz para digitalizar ($n=17$).

Tabla 5

Valor del estadístico *F* para los efectos principales que resultaron significativos

	Duración (<i>T</i>)	DA	CE	Equipo
<i>t</i>	49.85; p<.001 *	9.96; p<.001		
DPA	36.9; p<.001 *	23.54; p<.001	4.6; p<.05	
<i>I_m</i>		3.86; p<.05 *		9.73; p<.01
<i>I_{rep}</i>			41.31; p<.001	36.54; p<.001

Nota: Efectos principales que obtuvieron significancia estadística en el ANOVA de medidas repetidas. Las celdas que se mantienen sombreadas representan los casos en que esperaba un efecto, de acuerdo a la tabla 4. * Valores del análisis multivariado.

El efecto del factor Duración (*T*)

La primera pregunta que nos planteamos fue sobre el efecto de la duración programada del estímulo por reproducir (*T*) en los registros de tiempo de reproducción (*t*). Asumimos que encontraríamos diferencias en este indicador y que éstas tomarían la forma y características descritas para la propiedad escalar.

Encontramos un incremento consecutivo del tiempo de reproducción en relación a la duración del estímulo por reproducir (Figura 17a). El análisis estadístico señaló la significancia de esta diferencia como efecto principal [ANOVA_{MR}; $F_{(5, 36)} = 49.85$; p<.001]⁶⁹, y el análisis de comparaciones planeadas⁷⁰ –para detectar diferencias específicas⁷¹ entre los niveles del factor– señaló una diferencia significativa entre cada par de duraciones (*T*) consecutivas⁷².

Sin embargo, a diferencia de lo descrito por la propiedad escalar, la media de los registros de *t* no muestran precisión respecto de los valores de tiempo objetivo *T* (Figura 18a); aunque los

⁶⁹ Al no superar la prueba de Mauchly ($W=0.17$; p<.001), el estadístico univariado [$F_{(5, 200)} = 110.6$; p<.001] se sustituyó en el texto por el estadístico del análisis multivariado; aunque ambos resultaron significativos.

⁷⁰ Se utilizó un diseño “repetido” que genera vectores de códigos de contraste en los que cada nivel de la variable –excepto el primero– se compara con el nivel anterior; p. ej.: vector A (-1,1,0,0), vector B (0,-1,1,0), vector C (0,0,-1,1). Este diseño se usó para el resto de los análisis por comparaciones planeadas (Tabla C1; Anexo C. Resultados).

⁷¹ La tabla C1 del “Anexo C. Resultados” muestra las pruebas aplicadas para analizar diferencias específicas. El tipo de prueba depende de si el efecto fue esperado –anticipado en las hipótesis– (comparaciones planeadas), o no esperado (post-hoc).

⁷² Es decir, entre 400 y 760 ms (p<.001), entre 760 y 1120 ms (p<.01), entre 1120 y 1480 ms (p<.001), entre 1480 y 1840 ms (p<.001), y entre 1840 y 2200 ms (p<.001).

valores del coeficiente de variación parecen constantes a lo largo de las duraciones de T (Figura 18b).

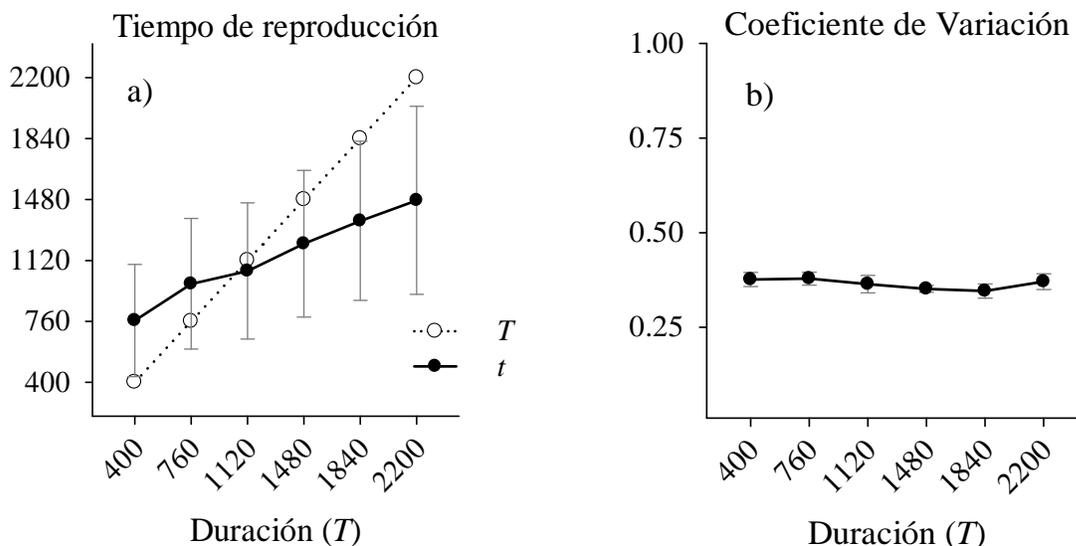


Figura 18. a) Media y desviación estándar del tiempo de reproducción t ; b) coeficiente de variación y error estándar; en función de la duración programada del estímulo por reproducir (T). El tiempo de reproducción t se contrasta con la reproducción exacta de los valores de T (círculos blancos unidos con una línea punteada).

Así, independiente del resto de los factores en la tarea, encontramos diferencias en el tiempo de reproducción (t) dadas las distintas duraciones programadas como estímulo por reproducir (T). La función de t dado T es creciente y con una forma aparentemente lineal (Figura 17a); sin embargo, no cumple con el rasgo de precisión de las medias, pero sí lo hace con la constancia del coeficiente de variación. Así, los resultados del experimento cumplen sólo parcialmente con lo descrito por la propiedad escalar.

El efecto del factor DA

La segunda pregunta que nos planteamos fue sobre el efecto de la cantidad de intervalos monitoreados simultáneamente (DA) en el error de reproducción (DPA) y en los tiempos para iniciar la respuesta (latencias). Asumimos que la DA sería un factor importante para describir estos indicadores de ejecución, específicamente, que a mayor cantidad de estímulos por atender

simultáneamente habría mayor imprecisión en timing y mayor latencia para iniciar la reproducción –efecto de interferencia–.

Los datos mostraron una tendencia creciente en el indicador de imprecisión (DPA) dado el aumento en el número de intervalos por atender simultáneamente (Figura 17f) [ANOVA_{MR}; $F_{(3, 120)} = 23.535$; $p < .001$]. Sin embargo, de manera específica la diferencia está entre la condición en que se atiende un intervalo y las condiciones en que se atiende dos o más intervalos⁷³. El error de reproducción es mayor cuando se atiende a dos intervalos simultáneamente que cuando se atiende sólo uno; pero no se encontraron incrementos consistentes en la imprecisión con cada intervalo agregado (Figura 17f).

En relación a las latencias para iniciar la respuesta (I_m y I_{rep}), encontramos tendencias distintas en ambos indicadores en relación a los niveles de DA (Figura 17j). Sólo la latencia de muestra del estímulo por reproducir (I_m) presentó diferencias con significancia estadística [ANOVA_{MR}; $F_{(3, 38)} = 3.85$; $p < .05$]⁷⁴. Como en el caso de la imprecisión (DPA), la diferencia específica en los valores de la latencia de muestra (I_m) se encuentra entre la condición en que se atiende un único intervalo y las condiciones en que se atiende dos o más⁷⁵.

Así, independiente del resto de los factores en la tarea, encontramos diferencias en la imprecisión de reproducción (DPA) y en la latencia de muestra del estímulo por reproducir (I_m), pero no así en I_{rep} , dada la cantidad de estímulos por atender simultáneamente (DA). En específico, se encontró mayor imprecisión y mayor latencia de muestra cuando se atendió a dos o más intervalos simultáneos, que cuando sólo se atendió a uno (Figura 17f; Figura 17j). A diferencia de lo esperado, el aumento en estos indicadores no es progresivo dados los incrementos en la DA.

⁷³ El análisis por comparaciones planeadas señaló una diferencia significativa entre los primeros dos niveles de DA: entre 1 y 2 ($p < .001$); pero no así en la comparación de los pares restantes (entre 2 y 3; y entre 3 y 4).

⁷⁴ Al no superar la prueba de Mauchly ($W=0.17$; $p < .001$), el estadístico univariado [$F_{(3, 120)} = 3.7$; $p < .05$] se sustituyó en el texto por el estadístico del análisis multivariado; aunque ambos resultaron significativos.

⁷⁵ El análisis por comparaciones planeadas señaló una diferencia significativa entre el primer par de niveles de DA: entre 1 y 2 ($p < .01$); y no así en el contraste entre los niveles 2 y 3; y entre los niveles 3 y 4.

El efecto del factor CE

La tercera pregunta que nos planteamos corresponde al efecto del componente espacial de la respuesta (CE) sobre el tiempo de reproducción (t) y su precisión (DPA). Asumimos que encontraríamos diferencias en estos indicadores, que los registros con CE fijo deberían ser parecidos a los reportados previamente con tareas de reproducción similares, pero que los registros de DPA bajo el CE fijo mostrarían mayor error que el CE en movimiento.

No encontramos diferencias estadísticamente significativas en el tiempo de reproducción (t) dado el componente espacial de respuesta como efecto principal (Figura 17c). En cambio, se identificó una diferencia significativa en relación al indicador de imprecisión DPA [ANOVA_{MR} $F_{(1, 40)} = 4.598$; $p < .05$]; aunque en un sentido contrario al que se esperaba, ya que la imprecisión fue mayor DPA en la condición CE en movimiento que en la fija (Figura 17g). La figura 19 muestra el tiempo de reproducción y coeficiente de variación distinguiendo la ejecución bajo el CE fijo y en movimiento.

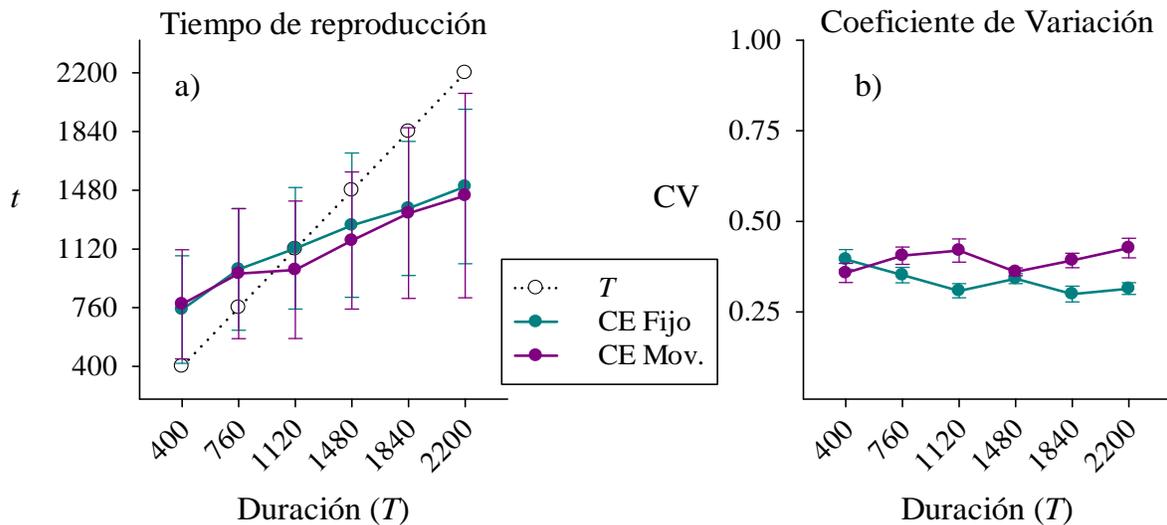


Figura 19. a) Media y desviación estándar del tiempo de reproducción t ; b) coeficiente de variación y error estándar; en función de los dos niveles de CE (fijo y en movimiento) y de la duración programada del estímulo por reproducir (T). El tiempo de reproducción t se contrasta con la reproducción exacta de los valores de T (círculos blancos unidos con una línea punteada).

Así, independiente del resto de los factores de la tarea, encontramos diferencias en el indicador de imprecisión (DPA) dado el componente espacial de la respuesta (CE); aunque esto no ocurrió

en el sentido esperado ya que el CE en movimiento generó más error que la reproducción en un punto fijo. Además, no se encontraron las diferencias esperadas en el tiempo de reproducción t dado el componente espacial de respuesta CE fijo o en movimiento.

El efecto del factor Equipo

La cuarta pregunta que nos planteamos fue sobre el efecto del equipo para resolver la tarea en el tiempo de reproducción, la precisión, y las latencias para iniciar la respuesta. Por su carácter exploratorio se decidió no anticipar los efectos de este factor sobre la ejecución.

Encontramos diferencias significativas en los registros la latencia de muestra l_m [ANOVA_{MR}; $F_{(1, 40)} = 9.731$; $p < .01$] y en la latencia para iniciar la respuesta l_{rep} [ANOVA_{MR}; $F_{(1, 40)} = 36.541$; $p < .001$]. En ambos casos, la latencia fue mayor cuando la tarea se resolvió con la tableta para digitalizar (Figura 17l) que cuando se resolvió con la pantalla táctil.

Así, independiente del resto de los factores, encontramos diferencias en los registros de latencia (l_m y l_{rep}) dado el Equipo utilizado para resolver la tarea; y no así para el registro de tiempo de reproducción (t) o el indicador de imprecisión (DPA).

Los efectos no esperados

A continuación se describen los efectos identificados por las pruebas estadísticas, que no fueron anticipados por las hipótesis planteadas (Tabla 5). En los casos pertinentes se analizan las diferencias específicas entre los niveles del factor con pruebas post-hoc.

El efecto de la Duración T sobre la imprecisión DPA

Los valores de imprecisión (DPA) dada la duración programada del estímulo por reproducir (T) [ANOVA_{MR}; $F_{(5, 36)} = 36.89$; $p < .001$]⁷⁶ parecen tener una forma cóncava con extremos asimétricos (Figura 17e). El análisis de las diferencias específicas⁷⁷ (Tabla C2; Anexo C.

⁷⁶ Al no superar la prueba de Mauchly ($W=0.02$; $p < .001$), el estadístico univariado [$F_{(5, 200)} = 111.08$; $p < .001$] se sustituyó en el texto por el estadístico del análisis multivariado; aunque ambos resultaron significativos.

⁷⁷ La prueba post-hoc de Scheffe.

Resultados) señaló que la imprecisión de la duración más corta –400 ms– es mayor, significativamente, que el resto de las duraciones ($p < .001$). Además, que la segunda duración más corta –720 ms– presentó, significativamente, más imprecisión que la tercera –1120 ms– ($p < .001$), la cuarta –1480 ms– ($p < .001$) y la quinta duración –1840 ms– ($p < .01$). Así, se encontró mayor imprecisión (DPA) en la reproducción del par de duraciones más cortas –400 y 720 ms– que en las intermedias y en las más largas. De hecho, el par de duraciones intermedias mostraron los puntajes más bajos de imprecisión (Figura 17e).

El efecto de la DA sobre el tiempo de reproducción t

Por otro lado, el efecto encontrado en el registro de tiempo de reproducción (t) dados los niveles de demanda de atención (DA) [ANOVA_{MR}; $F_{(3, 120)} = 9.961$; $p < .001$] mostró un patrón similar al encontrado para los indicadores DPA y I_m (Figuras 17b; 17f, 17j) descritos dentro de la sección de efectos esperados. La diferencia específica está entre la condición en que se atiende a un estímulo y cuando se atiende a dos o más⁷⁸ (Tabla C3; Anexo C. Resultados).

El efecto del CE sobre la latencia de reproducción I_{rep}

Finalmente, encontramos una diferencia en la latencia para iniciar la reproducción (I_{rep}) en función de si ésta se realiza sobre un punto fijo o en movimiento (CE) [ANOVA_{MR}; $F_{(1, 40)} = 41.305$; $p < .001$]. Los participantes tardaron en promedio más tiempo en activar el sensor de reproducción en la condición CE en movimiento, que en la condición CE fijo (Figura 17k).

La interacción entre factores

Después de realizar las pruebas de esfericidad pertinentes, encontramos que tanto el tiempo de reproducción (t) como el indicador de imprecisión (DPA) presentaron un efecto significativo debido a la interacción DA·Duración. La Figura 20 muestra las puntuaciones de t [ANOVA_{MR}; F

⁷⁸ La prueba post-hoc de Scheffe apuntó significancia para las comparaciones entre 1 y 2 estímulos ($p < .01$), entre 1 y 3 estímulos ($p < .01$), y entre 1 y 4 estímulos ($p < .001$).

$(15, 26) = 2.45; p < .05]$ ⁷⁹ y de DPA [ANOVA_{MR}; $F_{(15, 26)} = 7.34; p < .001]$ ⁸⁰ en términos de esta interacción.

El efecto la interacción DA·Duración sobre t

En los registros de tiempo de reproducción (Figura 20a) encontramos valores crecientes de t relativos al incremento en los valores de T , para todos los niveles de demanda de atención (DA1-DA4). En ninguno de estos niveles las funciones muestran precisión respecto a las medias.

En este caso, los análisis estadísticos de diferencias específicas⁸¹ señalaron que los incrementos significativos de t no se ubican entre cada par de intervalos T consecutivos –por ejemplo, 400 y 760 ms–. Para la condición en que se atiende a un único intervalo (DA1): las diferencias significativas de t se encuentran, principalmente, entre pares de intervalos T con dos incrementos de separación –por ejemplo, 400 y 1120 ms–. Para las condiciones en que se atiende a dos o más estímulos (DA2-DA4): la diferencia significativa de t se encuentra, en la mayoría de los casos, entre pares de intervalos T con tres incrementos de separación –por ejemplo, 400 y 1480–⁸². Este resultado expresa, indirectamente, que la pendiente de la función asociada a DA1 es mayor que las de DA2, DA3, y DA4 –las cuales son muy similares entre sí–.

A partir de esta diferencia general entre la condición DA1 y las condiciones DA2, DA3 y DA4; podemos apuntar también que: el par de duraciones más cortas bajo la condición DA1 presenta un mayor número de resultados significativos al compararlas con el resto de los intervalos en los otros niveles de DA. No pasa lo mismo con el par de duraciones más cortas en las condiciones DA2, DA3 y DA4–⁸³.

En conjunto, los registros del tiempo de reproducción t que presentaron valores más bajos, respecto a las tendencias generales de reproducción, fueron obtenidos en las condiciones

⁷⁹ Al no superar la prueba de Mauchly ($W=0.01; p < .05$), el estadístico univariado [$F_{(15, 600)} = 2.71; p < .001$] se sustituyó en el texto por el estadístico del análisis multivariado; aunque ambos resultaron significativos.

⁸⁰ Al no superar la prueba de Mauchly ($W=0; p < .001$) el estadístico univariado [$F_{(15, 600)} = 12.31; p < .001$] se sustituyó en el texto por el estadístico del análisis multivariado; aunque ambos resultaron significativos.

⁸¹ Se utilizó la prueba de Scheffe sobre esta interacción (Tabla C4; Anexo C. Resultados).

⁸² Esto se ve en los recuadros divididos por la diagonal dentro de la tabla C4 del “Anexo C. Resultados”.

⁸³ Esto se observa en la tabla C4 del “Anexo C. Resultados” comparando el primer par de columnas del primer bloque (DA1) con las columnas restantes de ese mismo bloque, y con el primer par de columnas del segundo bloque (DA2), del tercero (DA3) y del cuarto (DA4).

en que sólo se atendió a un intervalo (DA1) y dicho intervalo por reproducir duraba 400 o 760 ms.

El efecto la interacción DA·Duración sobre DPA

En relación al índice de imprecisión DPA (Figura 20b) encontramos funciones cóncavas dados los valores de T , para todos los niveles de demanda de atención (DA1-DA4). Estas funciones implican mayor error de reproducción en los intervalos más cortos y largos, pero menor error en los intervalos intermedios.

Los efectos encontrados por el análisis de diferencias específicas emula la forma general de los efectos ya descritos para el indicador t . No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de imprecisión de las distintas duraciones programadas (T) en la condición en que se atendió a un solo estímulo (DA1). Sin embargo, cuando se atienden dos o más intervalos simultáneamente (DA2-DA4) la duración más corta –400 ms– fue reproducida con mayor imprecisión que el resto de las duraciones dentro del mismo nivel de DA. Estos tres valores de imprecisión –400 ms en los niveles DA2-DA4– no son estadísticamente diferentes entre sí, pero todos mostraron ser diferentes a la imprecisión obtenida frente a cualquiera de las duraciones T bajo la condición DA1⁸⁴.

En conjunto, el índice de imprecisión DPA mostró mayores puntajes, respecto a las tendencias generales de imprecisión, cuando el intervalo por reproducir fue igual a 400 ms y se estaban atendiendo dos o más intervalos simultáneamente (DA2-DA4). En ese caso, la reproducción promedio T se desvió aproximadamente el doble.

⁸⁴ Esto se ve en la tabla C4 del “Anexo C. Resultados” comparando la primera columna del segundo bloque (DA2), con la primera columna del tercer bloque (DA3) y del cuatro (DA4).

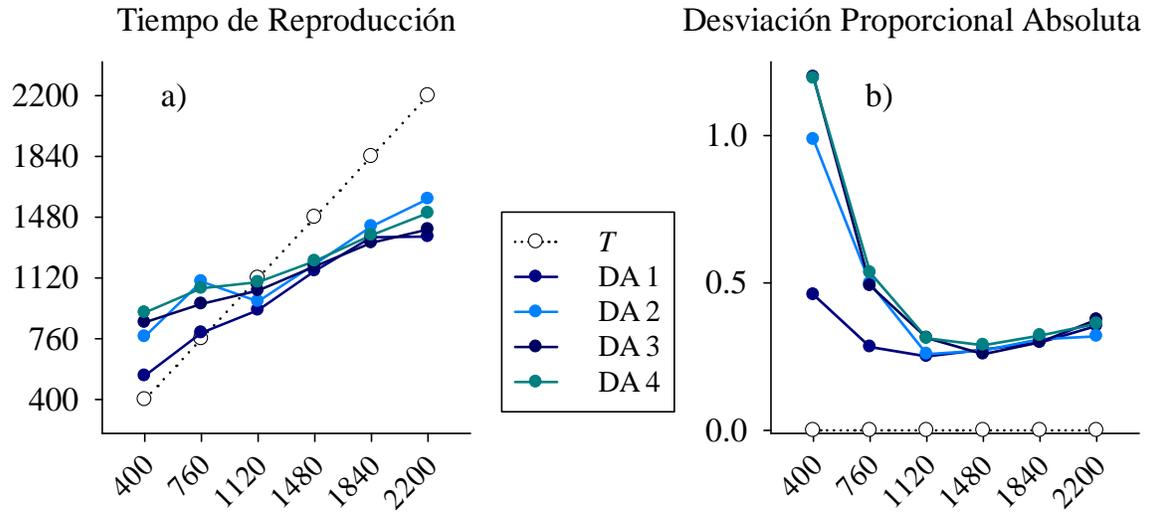


Figura 20. Media del a) tiempo de reproducción t , y b) desviación proporcional absoluta (DPA); en función de los distintos niveles de DA (1, 2, 3 y 4 estímulos simultáneos) y de la duración programada del estímulo por reproducir (T). El tiempo de reproducción t se contrasta con la reproducción exacta de los valores de T (círculos blancos unidos con una línea punteada).

Discusión

En este trabajo nos propusimos analizar la ejecución de participantes humanos en una tarea de timing que integrara, además de la medición de intervalos de tiempo, factores cognitivos como atención y movimiento, suponiendo que éstos afectarían la aferencia y eferencia, respectivamente, en el procesamiento de información temporal.

La tarea de TSr requiere que el participante evalúe la duración de uno o hasta cuatro estímulos parcialmente simultáneos y que reproduzca la duración de uno de ellos a partir de una cierta configuración espacial de la respuesta. En términos de la ejecución, se registró el tiempo de reproducción (t) –que es un indicador usual en una tarea de timing por reproducción– y de él se derivó el indicador de imprecisión (DPA) y se registraron dos latencias para iniciar la respuesta de reproducción (l_m , l_{rep}), –este tipo de mediciones son menos comunes en tareas de timing intervalar–, para evaluar su relación con los factores cognitivos implicados en este trabajo.

El experimento se llevó a cabo utilizando un diseño factorial mixto con el que se comparan las mediciones repetidas de los factores relacionados con la duración programada del estímulo por reproducir (T), la cantidad de intervalos parcialmente simultáneos por atender en un determinado ensayo (DA) y el componente espacial de la respuesta de reproducción (CE); y además, que compara entre sujetos el factor relacionado al aparato de registro utilizado durante la tarea (Equipo).

Las preguntas e hipótesis planteadas se establecieron en términos de los efectos principales de cada uno de los factores. A continuación, se analizan los resultados mostrados en la sección anterior, en relación a los efectos esperados y a la literatura referida en el marco teórico.

Análisis de resultados

La duración programada del estímulo por reproducir (Duración T)

La manipulación –que involucra a cualquiera de las seis duraciones programadas que podía tomar el estímulo por reproducir dentro de un ensayo en particular– mostró un efecto en los tiempos promedio de reproducción y el indicador de imprecisión.

Tal como se esperaba, se encontraron diferencias significativas en los tiempos de reproducción dada la duración programada del estímulo por reproducir (hipótesis 1), con independencia de la cantidad de intervalos por atender simultáneamente, el componente espacial de la respuesta de reproducción en cada ensayo y el aparato usado para registrar la ejecución durante la tarea. La función psicofísica mostró una tendencia creciente: con un aumento en el valor promedio de t por cada aumento en la magnitud del intervalo por reproducir T . Este es el primer elemento descrito por la propiedad escalar. Sin embargo, la función psicofísica incumplió el rasgo de precisión de las medias, y aunque los valores de coeficiente de variación son relativamente constantes entre las duraciones programadas, no se puede decir que los datos cumplan en su totalidad con el conjunto de rasgos que caracterizan a la propiedad escalar para timing intervalar (hipótesis 1.1).

Aunque la tarea de TSr utilizó un rango de duraciones similar al reportado por Lorraine Allan (1978), la función psicométrica aquí no se aproximó a la función reportada por Allan, misma que cumple con el rasgo de precisión de las medias. En los registros obtenidos, el incumplimiento de este rasgo también se observa incluso cuando la función de tiempo de reproducción promedio se separa entre las distintas combinaciones de los niveles de cada factor incluido en la tarea (Figura 21). Por otro lado, aunque en la tarea de reproducción reportada por John Wearden (2003) sólo se evalúan duraciones que abarcan la mitad más corta del rango que se evaluó en la tarea de TSr, sus datos fueron similares a la sección correspondiente de la función psicofísica que obtuvimos en este experimento: se encontró sobrestimación promedio de las duraciones programadas más cortas y una reproducción promedio precisa alrededor de las duraciones programadas cercanas 1 segundo –esto correspondería al punto de indiferencia descrito en el efecto de Vierordt (Figura 18a; 21)– (Lejeune & Wearden, 2009; Wearden, 2003).

Así, aunque existen incrementos consistentes en el tiempo de reproducción promedio dada la duración programada del estímulo por reproducir, la forma de esta función es más parecida a lo descrito como efecto de Vierordt que al rasgo de precisión de las medias que caracteriza a la propiedad escalar.

En relación al coeficiente de variación, los valores reportados por Allan (1978) no muestran constancia entre sí, mientras que los de Wearden (2003) y los obtenidos en la tarea de TSr fueron relativamente similares entre sí dadas las duraciones programadas de cada estudio. La principal diferencia entre ambos es que los coeficientes de variación reportados por Wearden fueron más pequeños –entre 0.04 y 0.18– que los encontrados en este estudio –entre 0.34 y 0.38 (Figura 18b)–. Es decir, la ejecución promedio de los participantes en la tarea de TSr cumple con el rasgo de constancia en el coeficiente de variación –descrito por la propiedad escalar–, pero alcanza valores que indican mayor variabilidad dentro del conjunto de reproducciones, y por lo tanto, se interpreta como una ejecución con menor sensibilidad a la duración programada del estímulo por reproducir, en comparación con los otros reportes analizados.

Por otro lado, aunque no se había anticipado en las hipótesis, el indicador de imprecisión presentó diferencias en función de la duración programada del estímulo por reproducir. En específico, la imprecisión de reproducción –que está expresada en términos relativos y absolutos– fue menor frente a las duraciones intermedias dentro del rango de duraciones programadas del estímulo por reproducir –cerca de 1 segundo–, y mayor en las duraciones cortas y largas del rango analizado; la imprecisión fue aún mayor en las duraciones cortas que en las largas⁸⁵. Este patrón es consistente con lo descrito en el efecto de Vierordt, y por ello se puede tomar como evidencia en contra del rasgo de precisión de las medias de la propiedad escalar. Lo anterior se encontró con independencia del resto de las manipulaciones incluidas en el experimento.

La duración programada del estímulo por reproducir no fue un factor importante para describir ninguno de los registros de latencia para iniciar la respuesta.

⁸⁵ Este resultado se complementa en la siguiente sección con el efecto de la cantidad de intervalos por atender simultáneamente (DA).

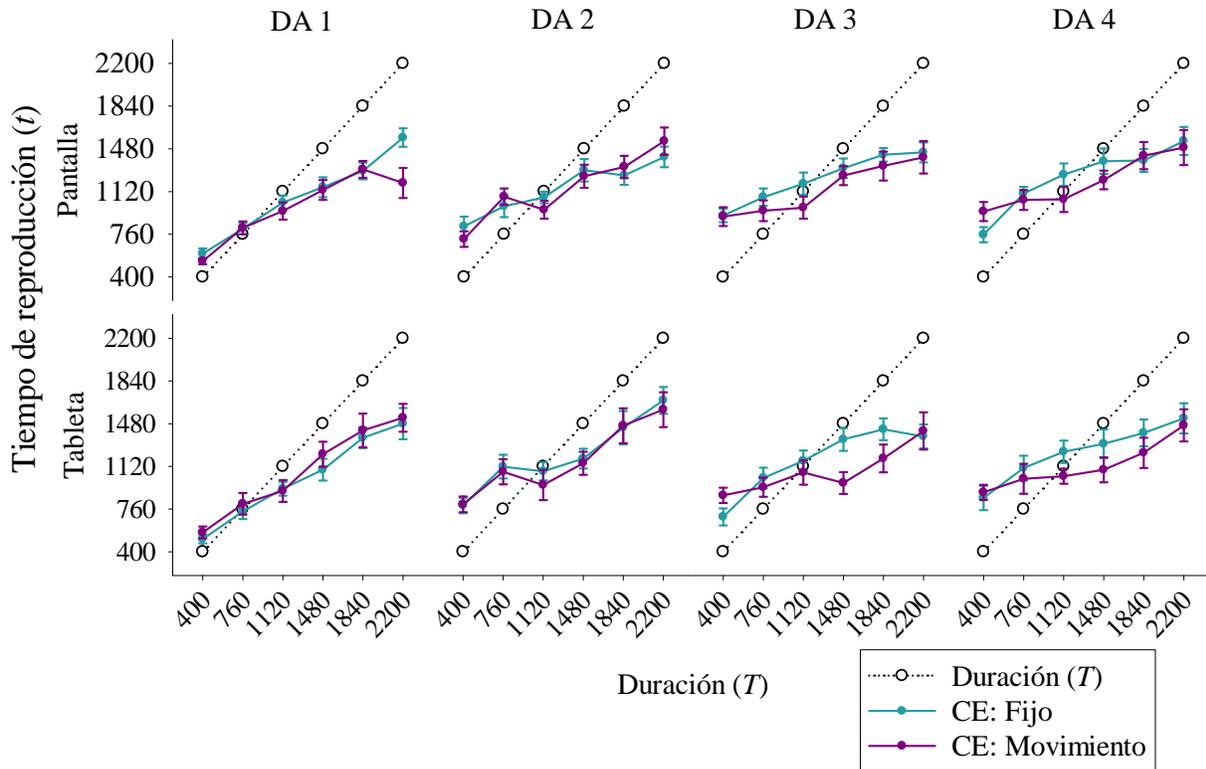


Figura 21. Media y error estándar del tiempo de reproducción (t) en función del Equipo con el que se resolvió la tarea (fila superior: pantalla; fila inferior: tableta), el nivel de DA (columnas, de izquierda a derecha), la Duración (T) del estímulo por reproducir (eje de las abscisas) y el CE (distinguido por colores). Las funciones de t se contrastan con la reproducción exacta de T (círculos blancos unidos con una línea punteada).

La cantidad de intervalos por atender simultáneamente (DA)

En términos del factor incluido en la tarea para evaluar la ejecución en timing cuando se atiende a varios intervalos ocurriendo simultáneamente, se encontró también un efecto en el tiempo promedio de reproducción y en el indicador de imprecisión. En este caso, se encontró además un efecto en la latencia para finalizar la muestra del estímulo por reproducir.

De acuerdo a lo esperado, se encontraron diferencias en el indicador de imprecisión dado el número de intervalos simultáneos por atender (hipótesis 2). Sin embargo, aunque la teoría de recursos cognitivos supone un aumento progresivo en el efecto de interferencia con cada nuevo intervalo por atender simultáneamente, en los resultados el principal aumento en la imprecisión promedio se observó entre la condición en que se atiende un intervalo y cuando se atiende a dos o más de ellos (hipótesis 2.1).

Como en el caso del indicador de imprecisión, se esperaba encontrar un efecto de interferencia progresivo sobre las latencias para iniciar la respuesta dado el incremento en la cantidad de intervalos por atender simultáneamente. Sólo la latencia para terminar la muestra del estímulo por reproducir presentó diferencias (hipótesis 2). Como ocurrió en el caso de la imprecisión, estas diferencias no se expresaron como un aumento progresivo de latencia –tal como se asume que el efecto de interferencia debe ocurrir, desde la supuesta división de recursos cognitivos entre tareas del mismo tipo–, sino de una manera aparentemente dicotómica: el valor de la latencia para terminar la muestra del estímulo por reproducir fue menor cuando se atendió a un solo intervalo, que cuando se atendió a dos o más de ellos simultáneamente –no se encontraron diferencias entre las condiciones en que se atendía a dos, tres o cuatro intervalos– (hipótesis 2.2).

Finalmente, aunque no se anticipó en las hipótesis, se encontró un efecto en el tiempo promedio de reproducción dada la cantidad de estímulos por atender simultáneamente, siguiendo el patrón de los efectos descritos antes: el tiempo de reproducción promedio fue menor cuando sólo se atendió a solo intervalo que cuando se atendieron a dos o más intervalos simultáneamente.

Estos tres resultados se presentaron con independencia de las variaciones impuestas por el resto de los factores dentro de la tarea. Los tres indicadores difieren abruptamente –y no progresivamente–: entre atender a un estímulo y atender a más de un estímulo simultáneamente. Esto es incongruente con la noción de distribución de recursos cognitivos limitados entre varias tareas simultáneas (Brown, 2010; Kahneman, 1973/1997; Lejeune, 1998; Pang & McAuley, 2003; Pashler, 1998), especialmente cuando esas tareas son todas del mismo tipo, es decir, de timing intercalar (Brown & West, 1990).

A diferencia de la latencia para terminar la muestra del estímulo por reproducir, la latencia para activar el sensor de reproducción no mostró diferencias dada la cantidad de estímulos por atender simultáneamente en un determinado ensayo. Esto constituye parte de una posible disociación doble entre las latencias registradas con la tarea; misma que será revisada en conjunto con lo encontrado con la manipulación del componente espacial en la siguiente sección.

La interacción de factores (DA·Duración) sobre los indicadores de ejecución t y DPA

Para integrar las últimas dos secciones es importante describir el efecto de la interacción entre la duración programada del estímulo por reproducir y la cantidad de intervalos por atender simultáneamente sobre los indicadores de ejecución tiempo de reproducción e imprecisión.

Los resultados analizados hasta aquí representan efectos principales en tanto que se ponderaron los registros en función a los niveles del factor en cuestión, y con independencia de las manipulaciones impuestas por el resto de los factores. El efecto de interferencia apunta a diferencias específicas y significativas que combinan los efectos principales de ambos factores, en este caso, sobre dos indicadores. Es importante recordar que el valor de imprecisión está relacionado con el de tiempo de reproducción en tanto representa su desviación proporcional absoluta respecto de la duración programada del estímulo por reproducir.

Solamente la condición en que se atendió a un único estímulo mostró una menor imprecisión de reproducción promedio, lo que se puede vincular con un valor promedio de tiempo de reproducción menor. Sin embargo, estos valores promedio en específico, se pueden descomponer en función de la duración programada del estímulo por reproducir con la que se obtuvieron, encontrando diferencias importantes.

En las condiciones en el participante debía atender a un único estímulo dentro del arreglo y que dicho estímulo tenía una duración programada de 400 ms se encontraron los registros promedio de tiempo de reproducción e imprecisión más bajos –sin ser por ello precisos–. Cuando el intervalo por reproducir fue de 400 ms pero se presentó dentro de un arreglo de dos, tres o cuatro estímulos simultáneos, los promedios de tiempo de reproducción e imprecisión fueron mayores, sin mostrar diferencias importantes entre sí –esto emula la forma general de los efectos principales descritos para el factor demanda de atención–.

Esto se observa detalladamente en las figuras 21 y 22, donde se separan el tiempo de reproducción y el indicador de imprecisión promedios entre las distintas combinaciones de los niveles de cada factor incluido en la tarea. La figura 23 representa el indicador de imprecisión distinguiendo entre las reproducciones que se realizaron con subestimación y sobrestimación (funciones por abajo y por arriba, respectivamente, de la línea punteada con círculos blancos).

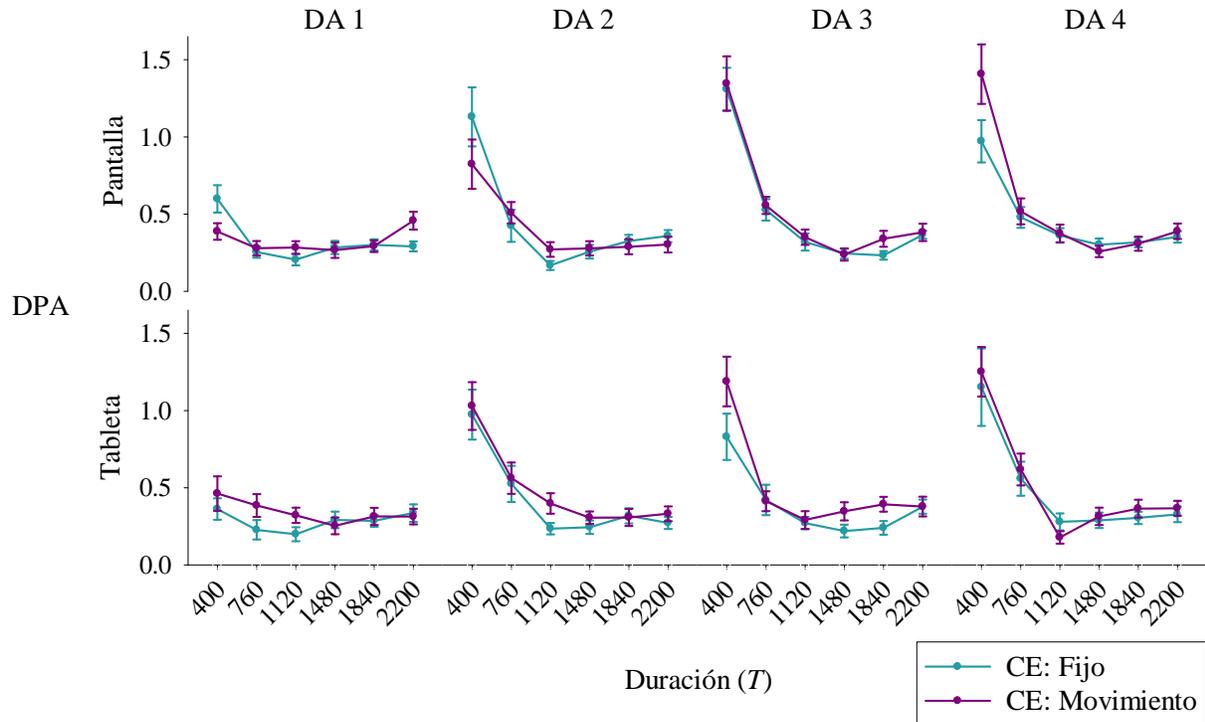


Figura 22. Media y error estándar del indicador de imprecisión DPA. Se conserva la organización por factores descrita en la figura 21.

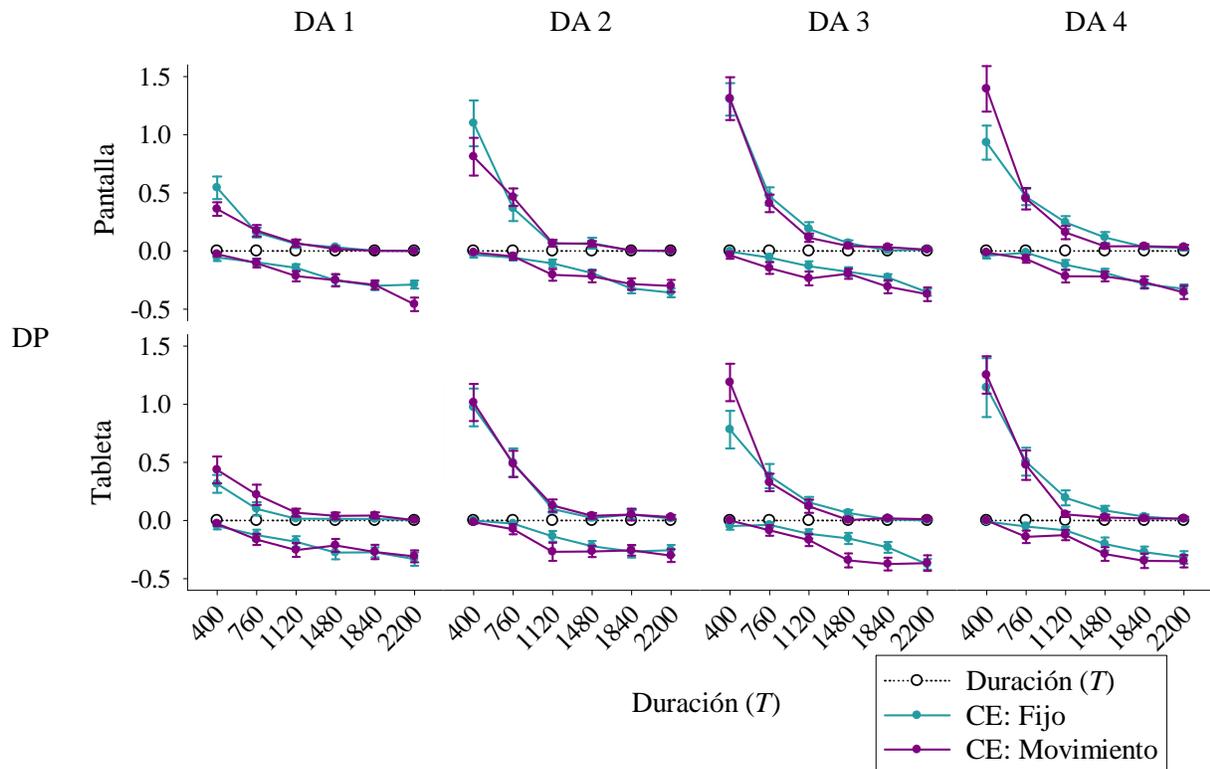


Figura 23. Media y error estándar del indicador de imprecisión DP que distingue subestimación y sobrestimación. Se conserva la organización por factores descrita en la figura 21.

El componente espacial de la respuesta de reproducción (CE)

El factor que caracteriza la forma en que se deberá emitir la reproducción durante la fase de registro de la respuesta –en un punto fijo o en movimiento– mostró un efecto en el indicador de impresión y en la latencia para activar el sensor con el que se inicia la reproducción.

Tal como se esperaba el indicador de imprecisión mostró diferencias entre las dos configuraciones espaciales de respuesta (hipótesis 3). Sin embargo, a diferencia de lo esperado, la desviación proporcional absoluta de la reproducción fue ligeramente mayor cuando ésta se realizó en movimiento que cuando se realizó en un punto fijo (hipótesis 3.2).

Además de la ausencia de diferencias como efecto principal, una comparación gráfica del tiempo de reproducción y el coeficiente de variación en términos de la duración programada del estímulo por reproducir, y en función del componente espacial –fijo o en movimiento–, mostró que tampoco existen diferencias importantes entre ambas funciones (Figura 19). Este resultado es contrario a lo esperado en términos de que las condiciones de reproducción fija y en movimiento no funcionaron como condiciones control y experimental, respectivamente. En términos de la propiedad escalar, la ejecución en ambas condiciones cumplió parcialmente dicha propiedad: no se encontró precisión en las medias y pero sí una relativa constancia en el coeficiente de variación –consistente con lo descrito para el efecto principal de Duración T sobre el tiempo de reproducción t – (hipótesis 3.1).

Finalmente, la configuración espacial de la respuesta de reproducción tuvo un efecto en la latencia para activar el sensor de reproducción. El tiempo promedio de esta latencia bajo la condición en movimiento fue mayor que el de reproducción en un punto fijo. Este resultado se puede articular con el efecto en la latencia para terminar la muestra del estímulo por reproducir dado el número de eventos atendidos simultáneamente. Mientras que la cantidad de estímulos por atender simultáneamente impactó sobre la latencia para terminar el estímulo de muestra (Figura 15a) –y no sobre la segunda latencia–, el componente espacial de la respuesta de reproducción mostró un efecto sobre la latencia para iniciar la activación del sensor de reproducción (Figura 15b) –y no sobre la primera latencia–. Así, parece que existe una doble disociación entre ambos indicadores de ejecución y los factores de atención y movimiento en la tarea.

El aparato de registro con que se resolvió la tarea (Equipo)

Finalmente, el factor Equipo asignado para comparaciones entre sujetos y dedicado a determinar si existen diferencias en la ejecución en función del aparato usado para registrar las respuestas – ya sea en una pantalla táctil o en una tableta para digitalizar– mostró su principal efecto sobre las dos latencias de respuesta en la tarea.

Dado su carácter exploratorio, no se anticiparon efectos particulares de este factor sobre los indicadores de ejecución (hipótesis 4). Sin embargo, los resultados mostraron que el grupo que resolvió la tarea en la tableta para digitalizar mostró en promedio mayores latencias para terminar la muestra del estímulo por reproducir y para iniciar la activación del sensor de reproducción que el grupo que resolvió la tarea en una pantalla táctil.

Ni los tiempos de reproducción ni el indicador de imprecisión mostraron diferencias en función del aparato usado para registrar las respuestas, por lo que dichos registros pueden interpretarse con independencia del aparato usado para resolver la tarea de TSr, tal como se hizo hasta ahora.

Hacia una conclusión...

En contextos naturales y experimentales enfrentamos estructuras de información complejas que se caracterizan por presentar muchas y diversas referencias temporales y espaciales. De algún modo, los sistemas cognitivos y biológicos que poseemos nos permiten captar y organizar estas referencias de manera que podamos dar sentido a ese flujo de información y tomar ventaja de él para sobrevivir o realizar la tarea más simple.

El objetivo de este trabajo fue analizar la ejecución de timing intervalar en humanos a partir del método de reproducción e integrando factores cognitivos relevantes como atención y movimiento como moduladores de la aferencia y eferencia del procesamiento, respectivamente. Para ello se utilizó la tarea de Timing Simultáneo con reproducción (TSr) en la que los participantes atienden a la duración de uno, dos, tres o cuatro estímulos, con duraciones distintas y parcialmente simultáneas; y posteriormente, reproducen la duración de alguno de ellos en una configuración espacial de punto fijo o lineal en movimiento. Con esta tarea se registró el tiempo

de reproducción, un indicador proporcional de la imprecisión de reproducción, y dos latencias para iniciar la respuesta de reproducción en cada ensayo.

En conjunto, los resultados del estudio mostraron relaciones interesantes entre los indicadores conductuales registrados y los factores manipulados en la tarea. La cantidad de estímulos por atender y la duración del estímulo por reproducir mostraron tener mayor impacto en los registros relativos a la ejecución en timing. Mientras que el componente espacial y el aparato con el que se registró la respuesta mostró tener efectos, principalmente, en las latencias para iniciar la respuesta.

En este estudio, la función psicofísica presentó constancia en el coeficiente de variación, pero no precisión de las medias, lo que incumple uno de los rasgos de la propiedad escalar. Se encontró un incremento en el indicador de imprecisión, aunque no de manera progresiva, como asume la teoría de distribución de recursos cognitivos para el efecto de interferencia, sino únicamente al contrastar las condiciones en que se atendía un estímulo y cuando se atendía a más de un estímulo. Además la duración más pequeña dentro del rango evaluado, mostró un efecto particular al ser reproducida con relativa precisión cuando se atendía más de un estímulo. Finalmente, la manipulación relativa a la configuración espacial, tal como se diseñó en esta tarea, no mostró las diferencias esperadas en los indicadores de ejecución relativos a timing. Los resultados mostraron que la configuración en movimiento aumentó la imprecisión en las reproducciones, pudiendo aumentar la demanda cognitiva general de la tarea en lugar de favorecer el procesamiento de información temporal.

A partir de las características de la tarea de TSr, en este trabajo se exploró la relación que existe entre factores cognitivos como atención y movimiento con el timing intervalar, con la idea de que dicha tarea emula mejor la complejidad de las demandas que se pueden presentar en ambientes naturales cuando la duración de los eventos es importante. Desde el marco teórico que tomamos como punto de partida, varios de los supuestos evaluados fueron sólo parcialmente aplicables, o incluso inconsistentes, con el conjunto de datos recabados con la tarea de TSr, con la muestra analizada y bajo el diseño experimental utilizado.

Además de las alternativas teóricas y conceptuales que permiten explicar los resultados aquí encontrados, se deben analizar cuidadosamente las ventajas y desventajas del diseño

experimental ocupado, de manera que sea posible identificar si éste tuvo algún impacto en la forma en que se expresaron los resultados de este estudio. Una consideración adicional es que en ninguna publicación que hayamos revisado hasta la fecha se integran metodológica experimentalmente el conjunto de factores analizados en este trabajo, lo que, hasta este punto, puede dificultar ampliar el consenso en los métodos y resultados aquí presentados.

Aunque estos aspectos marcan limitaciones en el alcance explicativo de los métodos y resultados de este trabajo, consideramos que es importante, a partir de ellos, insistir en fortalecer la reciente tendencia de estudio del timing intervalar en la que dicho procesamiento de información se ve en constante articulación con el resto del sistema cognitivo, y además, que el tipo de tareas que utilizamos dentro de contextos experimentales nos informen cada vez más sobre la forma en que los organismos operan con el tiempo bajo contextos naturales.

Referencias

- Allan, L.G. (1978). Comments on current ratio setting models for time perception. *Perception and Psychophysics*, 24(5), 444-450. DOI: 10.3758/BF03199742
- Allan, L.G. (1979). The perception of time. *Perception & Psychophysics*, 26(5), 340-354. DOI: 10.3758/BF03204158
- Allan, L.G. (1998). The influence of scalar timing model on human timing research. *Behavioural Processes*, 44(2), 101-117. DOI: 10.1016/S0376-6357(98)00043-6
- Allman, M.J., Teki, S., Griffiths, T.D. & Meck, W.H. (2013). Properties of the internal clock: First- and second-order principles of subjective time. *Annual Review of Psychology*, 65, 743-771. DOI: 10.1146/annurev-psych-010213-115117
- Arstila, V. & Lloyd, D. (2014). Preface. En *Subjective time: The philosophy, psychology and neuroscience of temporality* (IX-XI). Cambridge, MA: MIT Press.
- Azzollini, S.C., González, F.F., Gómez, M.E. (2004). La relación entre la capacidad de atención dividida y la estimación prospectiva del tiempo. *Interdisciplinaria*, 21(2), 195-212.
- Baldauf, D., Burgard, E. & Wittmann, M. (2009). Time perception as a workload measure in simulated car driving. *Applied Ergonomics*, 40(5), 929-935. DOI: 10.1016/j.apergo.2009.01.004
- Balsam, P., Sanchez-Castillo, H., Taylor, K., Van Volkinburg, H. & Ward, R.D. (2009). Timing and anticipation: conceptual and methodological approaches. *European Journal of Neuroscience*, 30(9), 1749-1755. DOI: 10.1111/j.1460-9568.2009.06967.x
- Blanck-Cereijido, F. & Cereijido, M. (2002a). La emergencia de la idea de tiempo (Capítulo 2). En *La vida, el tiempo y la muerte* (43-66). México: Fondo de Cultura Económica.
- Blanck-Cereijido, F. & Cereijido, M. (2002b). La adquisición de la temporalidad en el hombre (Capítulo 4). En *La vida, el tiempo y la muerte* (79-97). México: Fondo de Cultura Económica.

- Block, R.A. (1990). Models of psychological time (Chapter 1). En Block, R.A. (Ed.), *Cognitive models of psychological time* (1-35). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Block, R.A. (2003). Psychological timing without a timer: The roles of attention and memory. En Helfrich, H. (Ed.), *Time and mind II: Information processing perspectives* (41-59). Cambridge, MA: Hogrefe & Huber.
- Block, R.A. & Grondin, S. (2014). Timing and time perception: A selective review and commentary on recent reviews. *Frontiers in Psychology*, 5(648), 1-3. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.00648
- Bonato, M., Zorzi, M. & Umitlà, C. (2012). When time is space: evidence for a mental time line. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(10), 2257-2273. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2012.08.007
- Botella, J. (1997). Presentación. En Botella, J. (Trad.), *Atención y esfuerzo* (13-26). Madrid, España: Biblioteca Nueva.
- Broadway, J.M. & Engle, R.W. (2011). Lapsed attention to elapsed time? Individual differences in working memory capacity and temporal reproduction. *Acta Psychologica*, 137(1), 115-126. DOI: 10.1016/j.actpsy.2011.03.008
- Brown, S.W. (1985). Time perception and attention: the effects of prospective versus retrospective paradigms and task demands on perceived duration. *Perception & Psychophysics*, 38(2), 115-124. DOI: 10.3758/BF03198848
- Brown, S.W. (2010). Timing, resources and interference: attentional modulation of time perception (Chapter 8). En Nobre A.C. & Coull J.T. (Eds.), *Attention and time* (107-121). New York: Oxford University Press.
- Brown, S.W. & West, A.N. (1990). Multiple timing and the allocation of attention. *Acta Psychologica*, 75(2), 103-121. DOI: 10.1016/0001-6918(90)90081-P
- Bruya, B. (2010). Introduction: Toward a theory of attention that includes effortless attention and action. En Bruya, B. (Ed.), *Effortless attention. A new perspective in cognitive science of attention and action* (1-28). Cambridge, MA: The MIT Press.

- Buhusi, C.V. & Meck, W.H. (2009). Relative time sharing: new findings and an extension of the resource allocation model of temporal processing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biology Sciences*, 364(1525), 1875-1885. DOI: 10.1098/rstb.2009.0022
- Buonomano, D.V. & Karmarkar, U.R. (2002). How do we tell time? *Neuroscientist*, 8(1), 42-51.
- Call, J. (2000). Representing space and objects in monkeys and apes. *Cognitive Science*, 24(3), 397-422. DOI: 10.1016/S0364-0213(00)00024-0
- Cassenti D.N. (2011). The intrinsic link between motor behavior and temporal cognition. *New ideas in Psychology*, 29(2), 72-79. DOI: 10.1016/j.newideapsych.2010.03.011
- Chater, N. & Brown, G.D.A. (1999). Scale invariance as a unifying psychological principle. *Cognition*, 69(3), B17-B24. DOI: 10.1016/S0010-0277(98)00066-3
- Church, R.M. (1984). Introduction. Part VI. The internal clock. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423(1), 469. DOI: 10.1111/j.1749-6632.1984.tb23453.x
- Church, R.M., Guilhardi, P., Keen, R., MacInnis, M. & Kirkpatrick, K. (2003). Simultaneous temporal processing. En Helfrich, H. (Ed.), *Time and mind II: Information processing perspectives* (3-19). Cambridge, MA: Hogrefe & Huber.
- Comte-Sponville, A. (2002). El tiempo (Capítulo 10). En *Invitación a la filosofía* (127-142). España: Ediciones Paidós.
- Crystal, J.D. (2012). Sensitivity to time: Implications for the representation of time (Chapter 23). En Wasserman, E.A. & Zentall, T.R. (Ed.), *The Oxford handbook of comparative cognition* (434-450). USA: Oxford University Press. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780195392661.013.0023
- de la Peña, L. (2005). Tiempo y espacio: una mirada desde la física. En Valencia, G.G. & Olivera, M.E.O. (Coords.), *Tiempo y espacio: Miradas múltiples* (25-42). México: CEIICH-UNAM / Plaza y Valdés.
- Dehaene, S. & Brannon, E.M. (2010). Space, time, and number: a Kantian research program. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(12) 517-519. DOI: 10.1016/j.tics.2010.09.009

- Díaz, J.L.G. (2011). Cronofenomenología: El tiempo subjetivo y el reloj elástico. *Salud Mental*, 34(4), 379-389.
- Droit-Volet, S. (2013). Time perception in children: a neurodevelopmental approach. *Neuropsychologia*, 51(2), 220-234. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.09.023
- Einstein, A. (1930/2013). El problema del espacio, del éter y del campo, en la física. En *Mi visión del mundo* (164-175). México: Tusquets Editores México.
- Evans, V. (2004). The problem of time (Chapter 1). En *The structure of time: Language, meaning and temporal cognition* (3-11). USA: John Benjamins Publishing Co.
- Faulkner, R. & Becker, H. (2011). El repertorio como actividad (Capítulo 2). En *El jazz en acción. La dinámica de los músicos sobre el escenario* (41-67). Argentina: Siglo Veintiuno Editores.
- Fernández, A.G. (2002). Prólogo. En Gruart, A., Delgado, J.M., Escobar, C. & Aguilar, R., *Los relojes que gobiernan la vida* (11-15). México: Fondo de Cultura Económica.
- Frye, M.A. (2013). Visual attention: a cell that focuses on one object at a time. *Current Biology*, 23(2), R61-R63. DOI: 10.1016/j.cub.2012.12.004
- García-Pérez, M.A. (2014). Does time ever fly or slow down? The difficult interpretation of psychophysical data on time perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(415), 1-19. DOI: 10.3389/fnhum.2014.00415
- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Webber's law in animal timing. *Psychological Review*, 84(3), 279-325. DOI: 10.1037/0033-295X.84.3.279
- Gibbon, J. & Allan, L. (1984). Introduction. Part I. Time Perception. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423(1), 1. DOI: 10.1111/j.1749-6632.1984.tb23412.x
- Gleik, J. (2013). Time regained! Recuperado de <http://www.nybooks.com/articles/archives/2013/jun/06/time-regained/>
- Gruart, A., Delgado, J.M., Escobar, C. & Aguilar, R. (2002). *Los relojes que gobiernan la vida*. México: Fondo de Cultura Económica.

- Guilhardi, P., Menez, M. & López, F. (2012). *Tendencias en el estudio contemporáneo de la estimación temporal*. México: UNAM-Facultad de Psicología.
- Helfrich, H. (2003). Preface. En Helfrich, H. (Ed.), *Time and mind II: Information processing perspectives* (xi-xiv). Cambridge, MA: Hogrefe & Huber.
- Itti, L., Rees, G. & Tsotsos, J. (2005). Preface. En Itti, L., Rees, G. & Tsotsos, J.K. (Eds.), *Neurobiology of attention* (xxi-xxii). DOI: 10.1016/B978-012375731-9/50002-1
- James, W. (1890). Attention (Chapter XI). En *The principles of psychology. Vol. I* (402-458). USA: London Macmillan and Co. Ltd.
- Jazayeri, M. & Shadlen, M.N. (2015). A neural mechanism for sensing and reproducing a time interval. *Current Biology*, 25(20), 2599-2609. DOI: 10.1016/j.cub.2015.08.038
- Kahneman, D. (1973/1997). *Atención y esfuerzo*. Madrid, España: Biblioteca Nueva.
- Lejeune, H. (1998). Switching or gating? The attentional challenge in cognitive models of psychological time. *Behavioural Processes*, 44(2), 127-145. DOI: 10.1016/S0376-6357(98)00045-X
- Lejeune, H. & Wearden, J.H. (2009). Vierordt's The experimental study of the time sense (1868) and its legacy. *European Journal of Cognitive Psychology*, 21(6), 941-960. DOI: 10.1080/09541440802453006
- Logan, G.D. (2002). Parallel and serial processing. En Pashler, H. & Wixted, J. (Eds.), *Stevens' handbook of experimental psychology (3rd ed.)*, Vol. 4: *Methodology in experimental psychology*. (271-300). New York, NY: John Wiley & Sons. DOI: 10.1002/0471214426.pas0407
- López, F. (2012). Aprendizaje y control temporal: adquisición y transferencia (Capítulo 1). En Guilhardi, P., Menez, M. & López, F. (Eds.), *Tendencias en el estudio contemporáneo de la estimación temporal* (13-40). México: UNAM-Facultad de Psicología.
- Luria, A.R. (1975/1994). La Atención. En Merino, P.M. (Trad.), *Atención y memoria* (7-54). México: Ediciones Roca.

- Lynn, R. (1967). Attention, arousal and the orientation reaction. En Eysenck, H.J. (Ed.), *International Series of Monographs in Experimental Psychology, Vol.3*. London: Pergamon Press.
- Meck, W.H. (1987). Vasopressin metabolite neuropeptide facilitates simultaneous temporal processing. *Behavioural Brain Research*, 23(2), 147-157. DOI: 10.1016/0166-4328(87)90051-9
- Meck, W.H. & Church, R.M. (1984). Simultaneous temporal processing. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 10(1) 1-29. DOI: 10.1037/0097-7403.10.1.1
- Meck, W.H. & Williams, C.L. (1997). Simultaneous temporal processing is sensitive to prenatal choline availability in mature and aged rats. *NeuroReport*, 8(14) 3045-3051. DOI: 10.1097/00001756-199709290-00009
- Menez, M.D. (2012). Flexibilidad de la estimación de intervalos (Capítulo 2). En Guilhardi, P., Menez, M. & López, F. (Eds.), *Tendencias en el estudio contemporáneo de la estimación temporal* (41-87). México: UNAM-Facultad de Psicología.
- Merchant, H. & de Lafuente, V. (2014). Introduction to the neurobiology of interval timing. En Merchant, H. & de Lafuente, V. (Eds.), *Neurobiology of interval timing* (1-13). New York: Springer Science+Business Media.
- Merchant, H., Zarco, W. & Prado, L. (2008). Do we have a common mechanism for measuring time in millisecond range? Evidence from multiple-interval timing task. *Journal of Neurophysiology*, 99(2), 939-949. DOI: 10.1152/jn.01225.2007
- Morgan, J.F. & Hancock, P.A. (2008). Estimations in driving. En Castro, C.R. (Ed.), *Human factors of visual and cognitive performance in driving* (51-62). Boca Raton, FL: CRC Press.
- National Institute of Standards and Technology, NIST. (2015). Getting better all the time: JILA strontium atomic clock sets new records. Recuperado de http://www.nist.gov/pml/div689/20150421_strontium_clock.cfm

- Nobre, A.C. & Coull, J.T. (2010). Introduction. Attention___ Time: fill in the blank. En Nobre, A.C. & Coull, J.T. (Eds.), *Attention and time (XV-XVII)*. Oxford: Oxford University Press.
- Olton, D.S., Wenk, G.L., Church, R.M. & Meck, W.H. (1988). Attention and the frontal cortex as examined by simultaneous temporal processing. *Neuropsychologia*, 26(2), 307-318. DOI: 10.1016/0028-3932(88)90083-8
- Orduña, V. & Bouzas, A. (2011). Learning to stop or reset the internal clock. *Behavioural Processes*, 88(3), 155-161. DOI: 10.1016/j.beproc.2011.08.014
- Pang, K.C.H. & McAuley, J.D. (2003). Importance of frontal motor cortex in divided attention and simultaneous temporal processing (Chapter 14). En Meck, W.H. (Ed.), *Functional and neural mechanisms of interval timing*. USA: CRC Press LLC.
- Pashler, H.E. (1998). Introduction. En *The psychology of attention* (1-34). USA: The MIT Press.
- Phillips, I. (2012). Attention to the passage of time. *Philosophical Perspectives*, 26(1), 277-308. DOI: 10.1111/phpe.12007
- Pöppel, E. & Bao, Y. (2014). Temporal window as a bridge from objective to subjective time. En Arstila, V. & Lloyd, D. (Eds.), *Subjective time: The philosophy, psychology and neuroscience of temporality* (241-261). Cambridge, MA: MIT Press
- Posner, M.I. & Rothbart, M.K. (2009). Toward a physical basis of attention and self-regulation. *Physics of Life Reviews*, 6(2), 103-120. DOI: 10.1016/j.plrev.2009.02.001
- Posner, M.I., Snyder, C.R.R. & Davidson, B.J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(2), 160-174. DOI: 10.1037/0096-3445.109.2.160
- Rattat, A.C. & Droit-Volet, S. (2012). What is the best and easiest method of preventing counting in different temporal tasks? *Behavioral Research*, 44(1), 67-80. DOI: 10.3758/s13428-011-0135-3

- Roberts, W.A. (1998). Timing (Chapter 8). En *Principles of animal cognition* (241-265). New York, US: McGraw-Hill.
- Smith, E.E. & Kosslyn, S.M. (2008). Atención (Capítulo 3). En *Procesos cognitivos: Modelos y bases neurales* (105-149). Madrid, España: Pearson Educación.
- Sternberg, R.J. (2011). Atención y consciencia (Capítulo 4). En *Psicología cognoscitiva* (123-175). México: Cengage Learning.
- Sucala, M., Scheckner, B. & David, D. (2010). Psychological time: interval length judgments and subjective passage of time judgments. *Current Psychological letters*, 26(2), 1-9.
- Tsotsos, J.K., Itti, L. & Rees, G. (2005). A brief and selective history of attention. En Itti, L., Rees, G. & Tsotsos, J.K. (Eds.), *Neurobiology of attention* (xxiii-xxxii). DOI: 10.1016/B978-012375731-9/50003-3
- Valencia, G.G. & Olivera, M.E.O. (2005). *Tiempo y espacio: Miradas múltiples*. México: CEIICH-UNAM / Plaza y Valdés.
- van Rijn, H. & Taatgen, N.A. (2008). Timing of multiple overlapping intervals: How many clocks do we have? *Acta Psychologica*, 129(3), 365-375. DOI: 10.1016/j.actpsy.2008.09.002
- Watzl, S. (2011). The nature of attention. *Phylosophy Compass*, 6(11), 842-853. DOI: 10.1111/j.1747-9991.2011.00433.x
- Wearden, J.H. (2003). Applying the scalar timing model to human time psychology. En Helfrich, H. (Ed.), *Time and mind II: Information processing perspectives* (21-39). Cambridge, MA: Hogrefe & Huber.
- Wearden, J.H. (2014). Modelling behavior on classical timing tasks: Verbal estimation, production and reproduction. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 126(21), 34-35. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.02.307
- Wiederman, S.D. & O'Carroll, D.C. (2013). Selective attention in an insect visual neuron. *Current Biology*, 23(2), 156-161. DOI: 10.1016/j.cub.2012.11.048

Xirau, R. (1993). *El tiempo vivido. Acerca de "estar"*. México: Siglo Veintiuno Editores.

Zakay, D. & Block, R.A. (2004). Prospective and retrospective duration judgments: an executive control perspective. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 64(3), 319-328.

Anexo A. Evaluación inicial

La evaluación inicial, aplicada al inicio de la sesión experimental, tuvo por objetivo analizar el conjunto de habilidades básicas necesarias para resolver la tarea de TSr. Estas fueron: agudeza visual, discriminación cromática y control motor para la realización de un trazo. En esta sección se presenta la adaptación y resultados generales de tres pruebas cortas elegidas para tamizar estas habilidades.

Prueba de agudeza visual con los optotipos de Snellen

La prueba de Snellen evalúa la agudeza visual mediante la identificación de un conjunto de nueve letras: C, D, E, F, L, O, P, T y Z; con tamaños variables en función del nivel evaluado. La prueba permite identificar el umbral absoluto de agudeza visual al cambiar el tamaño de las letras (generalmente de las de mayor a las de menor tamaño) hasta el punto en que el sujeto ya no identifica correctamente la letra que se le está presentando. El nivel de agudeza visual (AV; ver fórmula 2) es la razón de la distancia de observación estándar entre la distancia máxima en la que una persona con visión normal puede identificar una letra (con un cierto tamaño dado el nivel evaluado).

$$AV = \frac{\text{Distancia de observación durante la evaluación}}{\text{Distancia máxima de identificación correcta}} \quad (2)$$

Los estímulos son letras que siguen un diseño de optotipos⁸⁶. La altura (tamaño) de las letras en cada nivel se asigna en función de la distancia a la cual se proyectan cinco minutos de arco del ángulo visual (α), necesarios para discriminar los rasgos básicos de cada letra (Figura A1). Esta distancia corresponde al denominador de la razón de AV en la fórmula 2.

⁸⁶ Este diseño en cuadrícula considera la proporción entre el trazo y los espacios vacíos, así como el ángulo (en grados) de apertura del campo visual.

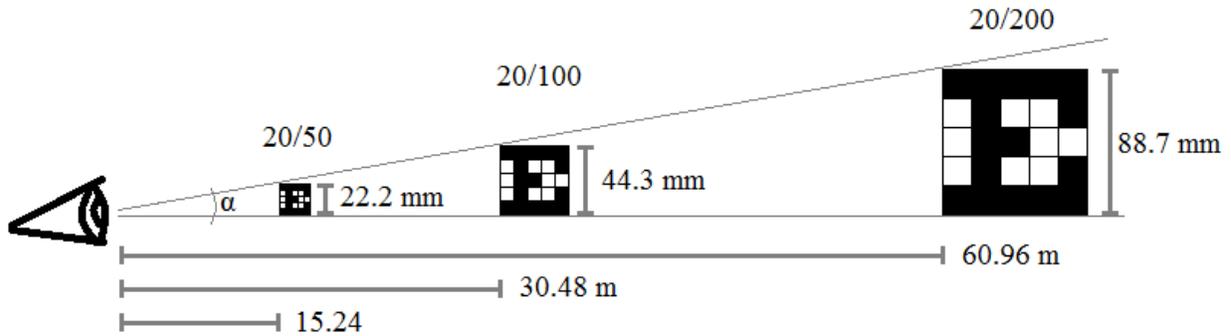


Figura A1. Muestra la proporción entre el tamaño de las letras y la distancia óptima de discriminación dada la proyección de cinco minutos del ángulo visual α . Los estímulos siguieron el diseño en cuadrícula de los optotipos y la relación de tamaños para los distintos niveles de agudeza visual.

Así, se realizaron las conversiones necesarias para modificar la distancia estándar de la prueba – 20 pies o 6.096 m– a la distancia estándar en la que el participante observaría los estímulos frente a la pantalla de la computadora para esta aplicación –1.10 m–. Siguiendo la proporción, se obtuvo la altura de las letras en cada nivel de AV y se transformó en píxeles (Tabla A1), considerando las características específicas del monitor.

Tabla A1

Adaptación de distancias y optotipos de la prueba de Snellen

Nivel AV	Altura (cm)	Conversión de nivel AV (m)	Ajuste para adaptación de la prueba			
			AV (m)	Altura (cm)	Altura (píxeles)	
1	20/200	8.87	6.096/60.96	1.10/11	1.60056	76
2	20/100	4.43	6.096/30.48	1.10/5.5	0.79938	38
3	20/50	2.22	6.096/15.24	1.10/2.75	0.40059	19
4	20/40	1.78	6.096/12.192	1.10/2.2	0.32119	15
5	20/30	1.33	6.096/9.144	1.10/1.65	0.23999	11
6	20/25	1.11	6.096/7.62	1.10/1.37	0.2003	9
7	20/20	0.88	6.096/6.096	1.10/1.10	0.15879	7
8	20/15	0.66	6.096/4.572	1.10/0.82	0.11909	6
9	20/13	0.57	6.096/3.9624	1.10/0.71	0.10285	5

Nota: AV Agudeza visual.

Durante la aplicación el participante debía permanecer sentado con la espalda recta y pegada al respaldo de la silla, conservando una distancia de 1.10 m entre el punto intermedio de sus ojos y la pantalla. La prueba consistió en dos bloques de ensayos, para la identificación de las letras con el ojo izquierdo y con el ojo derecho, respectivamente. Cada bloque incluyó 18 ensayos divididos en tres series de seis, en las que se presentaron series de letras de mayor a menor tamaño (en cada ensayo se mostró una letra al centro de la pantalla).

La tarea del participante era decir cuál era la letra que estaba observando, o bien, indicar que no podía distinguirla. El aplicador computó como “correcto” el primer caso, y como “incorrecto” la identificación errada de la letra o si reportaba que ya no podía distinguirla.

Cada participante obtuvo una puntuación monocular de agudeza visual máxima (en función del nivel máximo en que distingue bien las letras) para cada ojo, expresado en términos de la razón AV (ver resultados en tabla A2). Este puntaje es estándar en relación a la aplicación tradicional de la tarea (medida en pies: $20/20=1$) y a la adaptación que proponemos aquí (medida en metros: $1.10/1.10=1$).

Prueba de discriminación cromática con las láminas Ishihara

La prueba de Ishihara evalúa discriminación cromática mediante la identificación de un patrón (generalmente un número o línea) dentro de un círculo. El patrón y el círculo están formados por puntos de colores y tamaños distintos, y el contraste entre ellos permite discriminar el patrón dentro del círculo siempre que se tenga una visión cromática normal.

Para esta adaptación se utilizaron 11 de las 24 láminas originales (Figura A2), que fueron escogidas por sus características cromáticas. En cada ensayo se presentó aleatoriamente una lámina (280·280 píxeles) al centro de la pantalla. Después de 2500 ms, la lámina desaparece y se pregunta al participante si ha identificado algún patrón dentro del círculo. Tras la respuesta verbal del participante, el aplicador computó como “correcto” la identificación acertada del patrón o dígito y como “incorrecto” la identificación errada del mismo. Las láminas 14 y 15 se utilizan como ensayos control, y se computan como “correcto” si el participante responde no haber identificado un dígito o patrón particular.

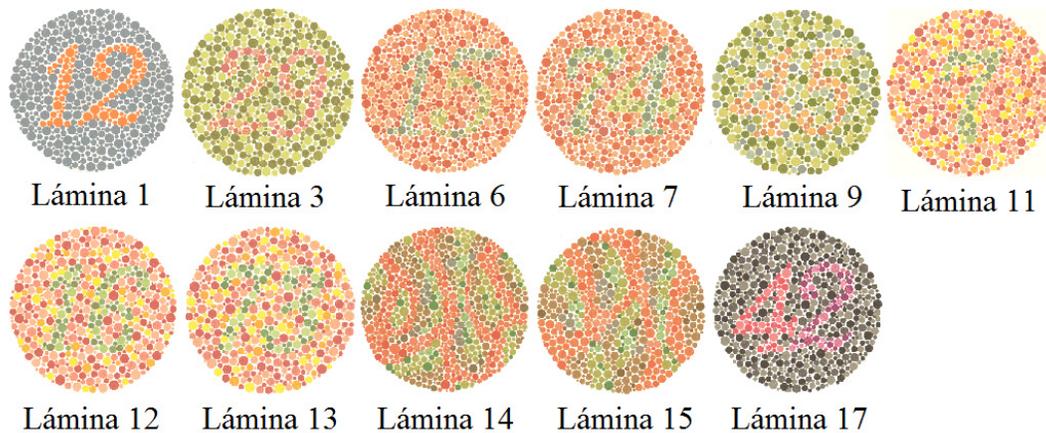


Figura A2. Láminas utilizadas para la adaptación de la prueba de Ishihara.

Prueba de control motor con laberintos

La prueba de laberinto tiene como objetivo detectar problemas severos relacionados con el control motor grueso, tal como rigidez, debilidad o temblor en el brazo y mano utilizados para resolver las tareas. La prueba incluyó tres ensayos en los que se presentó la imagen de un laberinto (Figura A3). Los primeros dos laberintos fueron diseñados con una cuadrícula de 6·6 (580·580 píxeles), y el tercero se trazó en una matriz de 6·12 (580·1160 píxeles).

El participante recibió la instrucción de trazar una línea (a partir de un movimiento sostenido y con desplazamiento, sobre la pantalla táctil o en una tableta para digitalizar) que marcara el camino que debía seguir un ratón (ubicado en el extremo superior izquierdo del laberinto) para llegar al queso colocado en el extremo inferior derecho (Figura A3). Este movimiento deja una marca visual sobre la plantilla que varía en dispersión dada la velocidad con la que se realizó el movimiento⁸⁷ (ver ejemplo en figura A4). La aplicación de esta tarea permitió registrar la precisión espacial de los movimientos realizados –ya que se dio la instrucción de no tocar los bordes del laberinto– y el tiempo (ms) que el participante tardó en completar cada plantilla.

⁸⁷ Esta marca se programó como una función de saturación por unidad de espacio.

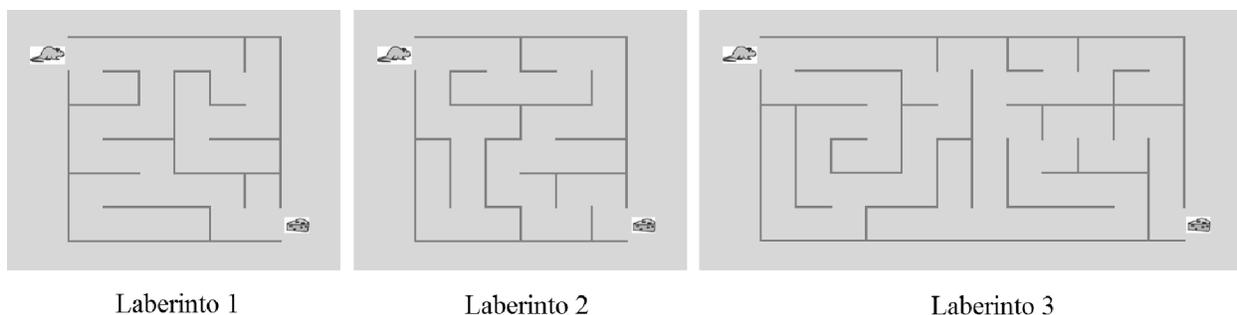


Figura A3. Muestra las tres plantillas de laberinto utilizadas en la prueba.

Resultados

Prueba de agudeza visual

El nivel de agudeza visual fue importante durante la solución de la tarea de TSr porque permitía al participante leer y detectar fácilmente la información presentada la pantalla durante los ensayos.

Cada participante se agrupó en relación a la puntuación monocular más baja que obtuvo. Esto con el objetivo de identificar las condiciones que pudieran entorpecer la realización de la tarea de TSr. Considerando criterios genéricos para clasificar puntajes de AV⁸⁸, la tabla A2 muestra la distribución de participantes en relación a las cuatro categorías propuestas del nivel de AV monocular más bajo que registraron.

Para esta prueba se estableció como criterio de exclusión: la obtención de un puntaje monocular de $AV \leq 0.2$. De la muestra que completó todas las evaluaciones ($n=45$), tres participantes cumplieron el criterio de exclusión, por lo que fueron excluidos del análisis de resultados principal ($n=42$).

⁸⁸ Por ejemplo que la puntuación $AV=1$ describe una visión normal y que $AV=0.6$ es una puntuación mínima necesaria para obtener un permiso de conducir en algunos países.

Tabla A2

Clasificación en función del nivel de agudeza visual

Clasificación	Nivel de AV	Cociente de AV	Número de participantes	Porcentaje
Criterio de exclusión	1	0.1	1	2.2 %
	2	0.2	2	4.4 %
	3	0.4	3	6.7 %
Por debajo de lo normal	4	0.5	1	2.2 %
	5	0.6	5	11.1 %
	6	0.8	6	13.3 %
Visión normal	7	1	18	40.0 %
	8	1.3	7	15.6 %
Por arriba de lo normal	9	1.5	2	4.44 %
			Total = 45	Total = 100 %

Nota: Distribución frecuencia absoluta y relativa de los participantes en función del nivel monocular más bajo que registraron y de la categoría a la que fueron asignados.

Prueba de discriminación cromática

En relación a la tarea de TSr, la discriminación cromática fue importante porque los estímulos que marcaban los intervalos por atender (y reproducir) eran círculos que se distinguían entre sí por el color con que se presentaban.

Para esta prueba se registró el número de errores de discriminación cromática para las 11 láminas escogidas de la prueba de Ishihara. Del total de la muestra que completó las evaluaciones, 38 participantes (84.4%) identificaron correctamente las 11 láminas presentadas, mientras que siete participantes (15.6%) cometieron un solo error (10 láminas correctas). De estos últimos: cinco participantes cometieron el error identificando la lámina 13, mientras dos cometieron el error identificando la lámina 14 y 15 respectivamente.

En esta prueba se espera que una persona con visión cromática normal pueda distinguir todas las láminas. Para esta adaptación se consideró como criterio de exclusión la emisión de dos

errores o más, por lo que ningún participante de la muestra resultó excluido debido a su ejecución en esta prueba.

Prueba de laberinto

Finalmente, la tarea de TSr requiere de un control motor que permita emitir una respuesta de reproducción sostenida, y en el caso de la reproducción en movimiento, siguiendo una trayectoria espacial particular y con velocidad relativamente constante.

En la prueba de laberinto se evaluó la capacidad de emitir una respuesta sostenida (en la forma de un trazo) siguiendo una trayectoria espacial determinada. Se registró el tiempo (ms) que tardó cada participante en realizar la tarea y los cambios en la velocidad del trazo (Figura A4).

A partir de las observaciones del aplicador se descartaron afecciones motoras –como temblor, rigidez o debilidad– que pudieran entorpecer la ejecución de la tarea de TSr con el sensor de reproducción. Ningún participante fue excluido de la muestra debido a su ejecución en esta prueba.

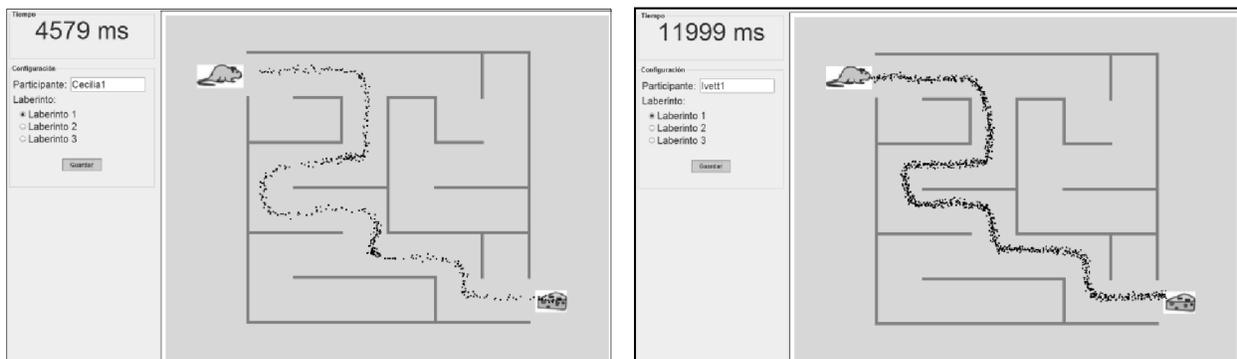


Figura A4. Se muestran dos impresiones de pantalla que corresponden a la ejecución final de dos participantes en el primer ensayo. Se observan diferencias en la ejecución en términos del tiempo para resolver el laberinto, la precisión y la “saturación” del trazo.

Como resultados generales, los registros obtenidos durante las pruebas de evaluación inicial mostraron que la ejecución de tres participantes en la prueba de agudeza visual cumplió el criterio de exclusión de la misma ($AV \leq 0.2$), por lo que fueron descartados del análisis principal

de este trabajo. Ningún otro participante cumplió los criterios de exclusión marcados por las pruebas de discriminación cromática y control motor.

La adaptación particular de estas tareas –y su pertinencia para evaluar lo que esperamos que evalúen– es material de discusión. Sin embargo, defendemos que su diseño y aplicación es fundamental para complementar un protocolo experimental, ya que permiten obtener información adicional sobre factores que afecten la ejecución de una tarea con demandas cognitivas particulares. En todo caso, es importante trabajar para que dichas evaluaciones sean pertinentes (dada la tarea principal del estudio), eficientes en sus mediciones, y de rápida aplicación.

Anexo B. Fases de la tarea de TSr

Descripción de las tres fases de la tarea

La tarea TSr se compone de tres fases: los ensayos de práctica, los ensayos de prueba y los ensayos de repetición (Tabla 3). Se incluye aquí una descripción más detallada de cada fase, y los detalles de la preparación de la base de datos, cuyo análisis se muestra en la sección de Resultados.

Ensayos de práctica

La primera fase incluyó 20 ensayos de práctica con el objetivo de mostrar al participante las instrucciones y condiciones en la tarea.

Se utilizaron cinco duraciones para la presentación de estímulos dentro de los arreglos: 580, 940, 1300, 1660 y 2020 ms. Al terminar la reproducción en cada ensayo se presentó una pantalla de retroalimentación con una barra azul en la parte superior de la pantalla –que representa la duración del estímulo por reproducir–, y otra barra en la parte inferior de la pantalla –que representa la reproducción emitida por el participante–. La barra inferior ajustaba su longitud en relación a la longitud constante de la barra superior, de acuerdo al valor de la desviación proporcional (DP)⁸⁹. Con la retroalimentación se informó al participante la proporción y dirección del error en su reproducción (t) dada la duración programada del estímulo por reproducir (T).

Cuando la reproducción (t) fue cercana a la duración programada (T), en específico, si el valor de DP entró en el rango de -0.2 a 0.2, la pantalla de retroalimentación mostró un letrero con la palabra “Correcto” (Figura B1a). Cuando el valor de DP quedó fuera de ese rango, la barra inferior se mostraba en rojo y se acompañó del mensaje “Incorrecto, debes mejorar tu precisión”. La figura B1b muestra la retroalimentación recibida frente a un error de reproducción mayor al 20% de la duración programada, en el sentido de una subestimación; mientras la figura B1c presenta una retroalimentación frente a un error con sobrestimación.

⁸⁹ Este indicador no absoluto de imprecisión se obtiene siguiendo la fórmula 1 (ver sección del Método).

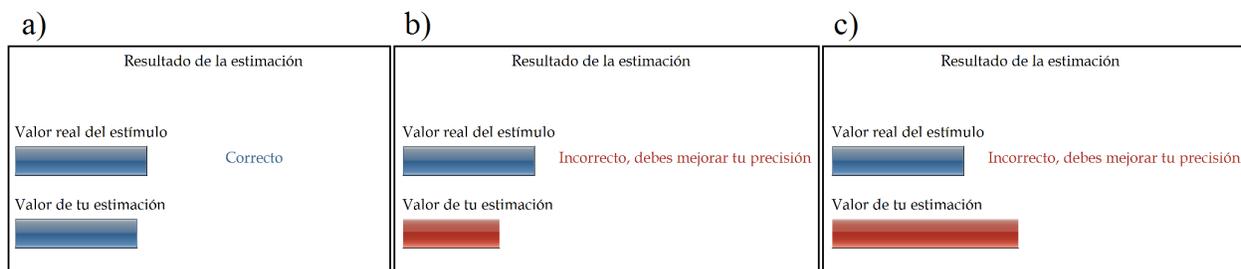


Figura B1. Impresión de pantallas que ejemplifican las diferentes formas en que se retroalimentó la ejecución del participante en relación a sus reproducciones: a) reproducción correcta, b) reproducción incorrecta con subestimación, y c) reproducción incorrecta con sobrestimación.

El orden de presentación de los ensayos de práctica fue semi-aleatorio sin remplazo. Los primeros ocho se fijaron de manera que presentaran la combinación de todos los niveles de los factores intrasujeto DA y CE (4·2).

En esta fase de práctica se utilizó un criterio de avance que dependía de la ejecución del participante en los ensayos previos:

- Si $DPA \leq 0.2$, en tres de los primeros ocho ensayos; o $DPA \leq 0.25$, en seis de los primeros ocho ensayos, entonces el programa iniciaba la fase de ensayos prueba –tras terminar los primeros ocho obligatorios–;
- En caso contrario, los ensayos de práctica continuaban –con el noveno, décimo...– hasta cumplir tres o seis ensayos con $DPA \leq 0.2$ o ≤ 0.25 respectivamente–; o hasta terminar los 20 ensayos de práctica programados.

Ensayos de prueba

La segunda fase incluyó 48 ensayos de prueba, que corresponden a la combinación de niveles de los factores intrasujeto DA, CE y Duración (4·2·6). Se utilizaron seis duraciones para configurar los estímulos contenidos en los arreglos: 400, 760, 1120, 1480, 1840 y 2200 ms. El orden de presentación de los ensayos fue aleatorio sin reemplazo. Los ensayos se presentaron en tres bloques –de 16 ensayos– separados por un tiempo de descanso que el participante manipuló para indicar el momento en que deseaba continuar con la tarea.

Ningún ensayo de prueba mostró retroalimentación. Sin embargo, en cada bloque se

insertaron, en orden aleatorio, tres ensayos –tomados aleatoriamente del conjunto de 20 ensayos de práctica con retroalimentación–. No se dio al participante ninguna señal que le permitiera anticipar el momento en que se presentaría un ensayo con retroalimentación.

La inclusión de estos ensayos pretendió sugerir al participante una evaluación continua de sus reproducciones. Así, los nueve ensayos de práctica insertados durante esta fase no se incluyen en el análisis de datos de la fase de prueba.

Ensayos de repetición

Al terminar los ensayos de prueba –tras finalizar el tercer tiempo de descanso–, inició la tercera y última fase de la tarea. En ésta se presentaron, nuevamente, los ensayos de la fase de prueba en que se registró una $DPA \geq 0.8$ ⁹⁰. El número de ensayos de repetición presentados dependió de la ejecución del participante en la fase de prueba.

La inclusión de estos ensayos durante la tarea permitió contar con una medición adicional para los casos en que el error de reproducción correspondía a una falla en la ejecución de la respuesta –en el ajuste entre el participante y el sensor– y no a una falla en la percepción del intervalo (ver detalles en la sección “Ensayos de prueba” dentro del apartado “Resultados por fase” de este Anexo).

Resultados por fase

Los tiempos de la sesión experimental

Los participantes de la muestra analizada ($n=42$) tardaron en promedio 25.53 min (D.E.=4.40 min) en completar la tarea de TSr. El tiempo promedio para ver las instrucciones de la tarea fue de 1.26 min (D.E.=0.26 min), mientras que para contestar la encuesta inicial –que recaba datos personales– los participantes tardaron en promedio 4.07 min (D.E.=1.20 min). El tiempo promedio para terminar la fase de ensayos de práctica fue de 2.55 min (D.E.=0.59 min), mientras que para terminar la fase de ensayos de prueba fue de 13.28 min (D.E.=1.43 min).

⁹⁰ Esto que significa que la reproducción se acercó a 0 ms (subestimación), o bien, al doble o triple de la duración programada T (sobrestimaciones).

Dentro de la fase de prueba se permitieron tres momentos de descanso cuya duración fue controlada por el participante. En promedio, el primer tiempo de descanso duró 11.396 s (D.E.=12.316 s), el segundo tiempo fue de 13.543 s (D.E.=18.601 s), y el tercer tiempo fue de 10.220 s (D.E.=13.133 s).

Los participantes respondieron la encuesta final en un tiempo promedio de 3.22 min (D.E.=1.41 min). Las pruebas complementarias se aplicaron en aproximadamente 15 min, por lo que la duración total de la sesión experimental fue de 40 min aproximadamente.

Ensayos de práctica

En promedio la muestra realizó 11.2 ensayos de práctica (D.E.=3.6). Los participantes de la muestra se agruparon de la siguiente manera en función del criterio que cumplieron para terminar los ensayos de práctica.

- Treinta y seis participantes (85.7% del total) terminaron esta fase realizando tres ensayos con $DPA \leq 0.2$, requiriendo en promedio 10.1 (D.E.=2.2) ensayos para ello. De estos participantes, 13 (30.9% del total) cumplieron el criterio en los primeros ocho ensayos obligatorios.
- Dos participantes (4.8% del total) cumplieron el criterio de seis ensayos con $DPA \leq 0.25$, requiriendo para ello 13 y 15 ensayos, respectivamente.
- Finalmente, cuatro participantes (9.5% del total) terminaron la fase completando los 20 ensayos de práctica programados.

Estos descriptivos permiten afirmar, en general, que los participantes analizados comprendieron las instrucciones de la tarea, pues pudieron aplicarlas adecuadamente a la solución de los ensayos de práctica.

Ensayos de prueba

Para el análisis principal de los datos, del total de ensayos presentados en la fase de prueba se descartaron nueve de práctica intercalados; quedando en total 48 ensayos de prueba por

participante. Estos representan la combinación de los niveles de las variables intrasujeto DA, CE, Duración (4·2·6).

Dadas las características de los equipos usados para resolver la tarea y las condiciones espaciales de reproducción implementadas, se propuso aquí un criterio para discriminar un sesgo en timing de un error de ajuste entre el participante y el sensor. Este criterio se propuso a partir de la distribución de frecuencias de los tiempos de reproducción (t) emitidos durante la tarea (Figura B2).

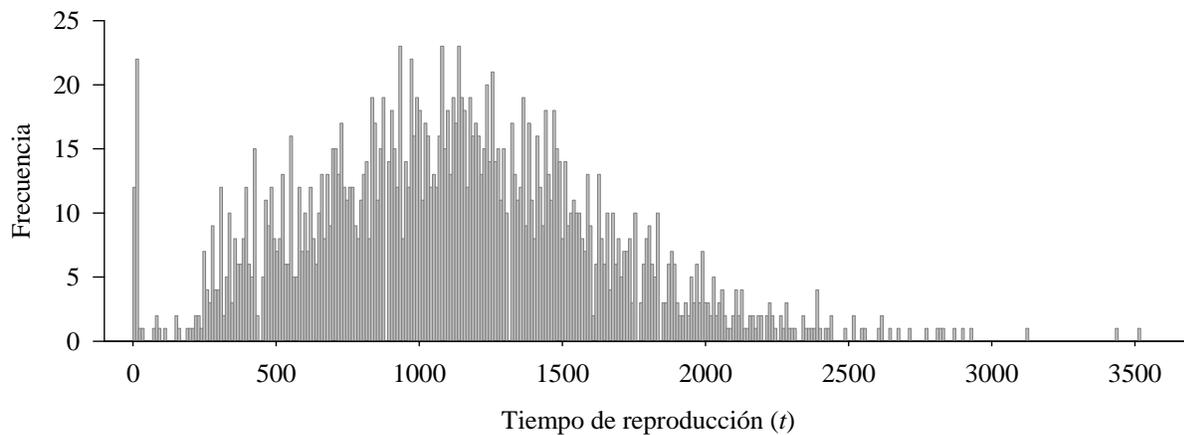


Figura B2. Distribución de frecuencia absoluta para el registro de tiempo de reproducción (t).

La figura B2 presenta un histograma de frecuencias⁹¹ de los valores de tiempo de reproducción (t) de los 48 ensayos de prueba resueltos por los participantes en la muestra. En términos muy generales, la forma en que se distribuyen los datos esboza una curva parecida a la normal. Sin embargo, en el extremo inferior de la distribución se agrupa un pequeño conjunto de valores con frecuencias casi tan altas como la moda de la distribución. Este rasgo se ha observado en aplicaciones previas de la tarea y se ha asociado a un error de ajuste entre el participante y el equipo utilizado, por lo que lo tomamos como base para construir el criterio de sustitución, a partir de los ensayos de repetición⁹².

⁹¹ El histograma se compone de 360 bloques, por lo que presenta una resolución de 10 ms entre barras.

⁹² Los ensayos de repetición se presentaron para obtener una medición adicional de aquellos ensayos en que se presentó un error de ajuste entre el participante y el sensor de reproducción.

Ensayos de repetición

Todos los participantes de la muestra cumplieron el criterio de repetición⁹³ con por lo menos un ensayo. La muestra repitió en promedio 7 ensayos (D.E.=2.4). Del total de ensayos de prueba resueltos por la muestra –2016 ensayos–, el 14.5% de los ensayos cumplieron el criterio de repetición. La figura B3 muestra las características que tuvieron los ensayos de repetición en cada factor analizado en la tarea.

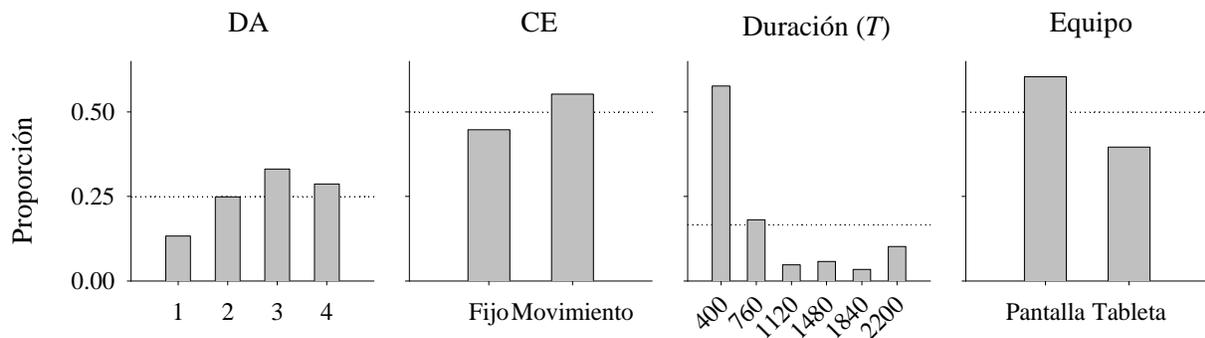


Figura B3. Proporción de ensayos de repetición para los niveles de cada factor analizado en la tarea. La línea horizontal marca la proporción esperada por azar en cada panel.

Los ensayos de repetición –que son aquellos con los índices de imprecisión más grandes ($DPA \geq 0.8$)–, fueron proporcionalmente más frecuentes en las duraciones más cortas –400 y 760 ms–, cuando se tenía que atender más de un estímulo (DA2-DA4), en la reproducción en movimiento, y al resolver la tarea en una pantalla táctil.

Se utilizaron la distribución de frecuencia de los tiempos de reproducción (Figura B2) y la proporción de ensayos de repetición entre los niveles de los factores (Figura B3) para proponer el criterio de sustitución de ensayos, y con ello, conformar la base de datos para el análisis principal.

Conformación de la base de datos

El criterio de sustitución debe partir del de repetición y ser más específico en discriminar los tiempos de reproducción (t) que fueran demasiado cortos o largos para corresponder a una

⁹³ Presentar un ensayo de prueba con prueba con $DPA \geq 0.8$.

plausible reproducción de alguno de los intervalos programados (T). Así, para el análisis de datos principal se estableció que:

1. Del conjunto de ensayos de prueba, los ensayos que cumplieran que $t < 100$ ms se denominarían *ensayos por sustituir* (se asume que estos presentaron el error de ajuste).
2. Los registros de ejecución de estos ensayos serían reemplazados en la base de datos, específicamente, por los registros de sus correspondientes ensayos de repetición, que ahora toman el nombre de *ensayos sustituidos*.

Ensayos por sustituir y sustituidos

A diferencia de los ensayos de repetición, sólo 23 participantes de la muestra (54.7% del total) cumplieron el criterio para la sustitución de al menos un ensayo. Estos participantes presentaron en promedio 1.7 (D.E.=0.9) ensayos por sustituir, sumando un total de 39 ensayos entre toda la muestra. Esta cantidad representa solo el 1.9% del total de ensayos de prueba aplicados. Para terminar con la comparación, la figura B4 presenta la proporción de ensayos que cumplieron el criterio de sustitución ($t < 100$ ms) en cada nivel de los cuatro factores incluidos en el estudio.

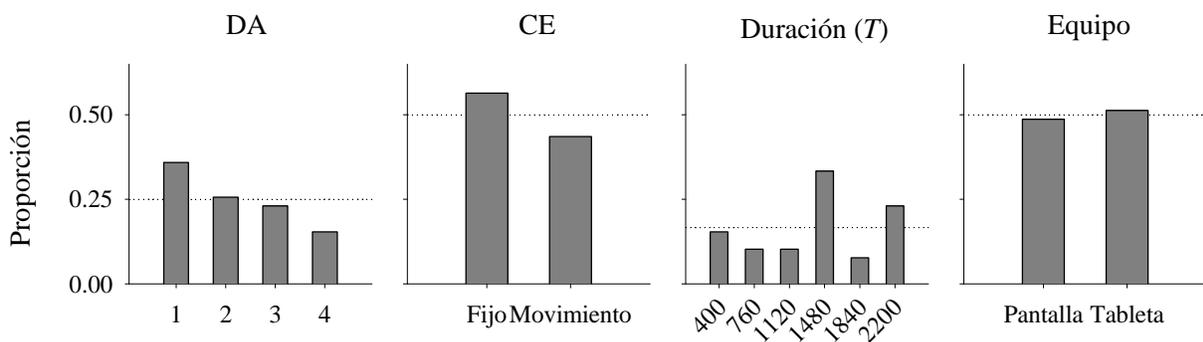


Figura B4. Proporción de ensayos que cumplieron el criterio de sustitución entre los niveles de los factores DA, CE, Duración y Equipo. La línea horizontal marca la proporción esperada por azar en cada panel.

Las proporciones de ensayos repetidos (Figura B4) difieren de las de los ensayos sustituidos (Figura B3). La principal preocupación que tuvimos al proponer el criterio de sustitución ($t < 100$

ms) fue que no pudiéramos distinguir el “error de ajuste” de una auténtica y reproducción. Consideramos que ese riesgo aumentaba cuando el estímulo por reproducir T era más corto (400 y 760 ms) o bien cuando aumentaba la demanda de atención (DA2-DA4). Sin embargo, la figura B4 muestra que la frecuencia relativa de ensayos por sustituir no fue especialmente alta en estos casos. De hecho, la proporción de ensayos por sustituir para los casos en que el estímulo por reproducir era de 400 ms fue cercana al valor esperado por azar –dado que el factor Duración tiene seis niveles–; y curiosamente la proporción de ensayos que cumplieron el criterio disminuyó con el aumento en la demanda de atención.

Al eliminar los ensayos que cumplieron el criterio de sustitución, e integrar en su lugar los ensayos repetidos correspondientes (que ahora podemos llamar los ensayos sustituidos) se conformó la base de datos final que se analiza en la sección de Resultados. La figura B5 presenta la distribución de frecuencias del tiempo de reproducción t que considera esta sustitución.

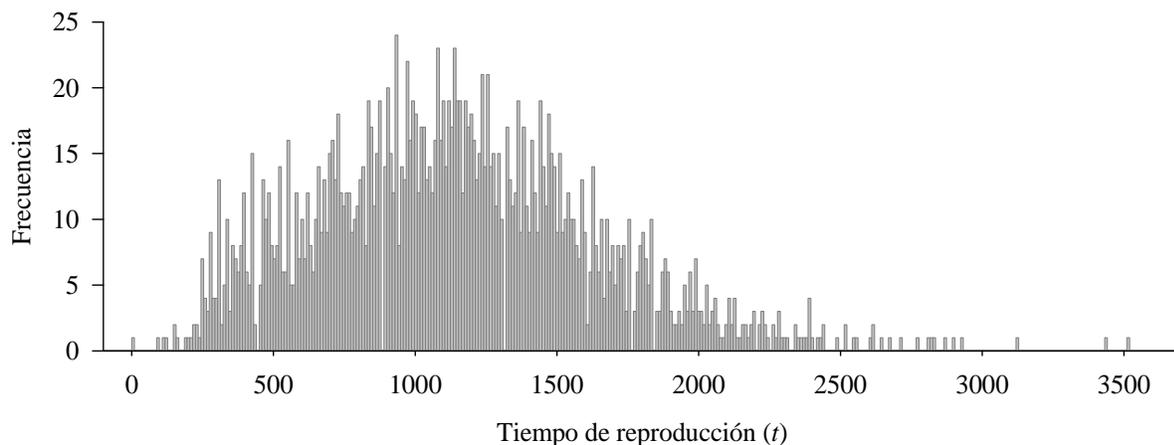


Figura B5. Distribución de frecuencia absoluta para el registro de tiempo de reproducción (t) integrando los ensayos que cumplieron el criterio de sustitución. Esta es la base de datos final que se analizó en la sección de Resultados.

Anexo C. Resultados

Análisis de diferencias específicas

Tabla C1

Relación de pruebas estadísticas para determinar las diferencias específicas

	Duración (T)	DA
t	C. Planeadas	Post-Hoc
DPA	Post-Hoc	C. Planeadas
l_m		C. Planeadas

Nota: Se muestran las pruebas utilizadas para determinar diferencias específicas en los efectos principales, cuando se anticiparon en las hipótesis (Comparaciones Planeadas: diseño repetido) y cuando no (Post-Hoc: Scheffe).

Pruebas de Scheffe

Tabla C2

Prueba de Scheffe para el factor principal Duración (T) en el indicador de imprecisión (DPA)

Duración	1	2	3	4	5	6
1						
2	0.00					
3	0.00	0.00				
4	0.00	0.00				
5	0.00	0.00				
6	0.00					

Nota: Se muestran los valores críticos significativos ($p \leq .05$) de las pruebas Scheffe aplicadas al factor principal Duración (T). Únicamente se muestran los valores por debajo de la diagonal.

Tabla C3

Prueba de Scheffe para el factor principal demanda de atención (DA) en el indicador t

DA	1	2	3	4
1				
2	0.00			
3	0.00			
4	0.00			

Nota: Se muestran los valores críticos significativos ($p \leq .05$) de las pruebas Scheffe aplicadas al factor principal demanda de atención (DA). Únicamente se muestran los valores por debajo de la diagonal.

Tabla C4

Prueba Scheffe para la interacción DA·Duración en los indicadores *t* y DPA

DA	T	DA1						DA2						DA3						DA4					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
DA 1	1							0.00						0.00						0.00					
	2							0.00						0.00						0.00					
	3	0.00						0.00						0.00						0.00					
	4	0.00	0.02					0.00						0.00						0.00					
	5	0.00	0.00	0.01				0.00						0.00						0.00					
	6	0.00	0.00	0.00				0.00						0.00						0.00					
DA 2	1				0.01	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00													0.00						0.00				
	3	0.00													0.00						0.00				
	4	0.00	0.00												0.00						0.00				
	5	0.00	0.00	0.00											0.00	0.04					0.00				
	6	0.00	0.00	0.00	0.00				0.00	0.00					0.00	0.00					0.00				
DA 3	1					0.00	0.00				0.01	0.00	0.00					0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00																			0.00				
	3	0.00																			0.00				
	4	0.00	0.00												0.01						0.00				
	5	0.00	0.00	0.00											0.00	0.02					0.00				
	6	0.00	0.00	0.00					0.02	0.00					0.00	0.00					0.00				
DA 4	1					0.00	0.00				0.01	0.00	0.00					0.01	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00																			0.00				
	3	0.00																			0.00				
	4	0.00	0.02												0.01						0.00				
	5	0.00	0.00	0.00											0.00	0.03					0.00	0.01			
	6	0.00	0.00	0.00	0.01				0.00	0.00					0.00	0.00	0.00				0.00	0.00	0.02		

Nota: En la misma tabla se muestran los valores críticos de las pruebas Scheffe aplicadas a la interacción DA·Duración, tanto para el indicador tiempo de reproducción *t* (sección por debajo de la diagonal central) como para el indicador de imprecisión DPA (sección por arriba de la diagonal central). Se muestran únicamente los valores que resultaron significativos ($p \leq 0.05$).